Müller, Joh.,

Bericht

über die

neuesten Fortschritte

der

Physik.

Bericht

über die

neuesten Fortschritte

der

Physik.

In

ihrem Zusammenhange dargestellt

von

Dr. Joh. Müller,

Professor der Physik und Technologie an der Universität zu Freiburg im Breisgau.

In zwei Bänden.

Erster Band.

Mit zahlreichen in den Text eingedruckten Holzschnitten.

Braunschweig,

Druck und Verlag von Friedrich Vieweg und Sohn.

(1849.) 1851.

Reibungselektricität.

Erster Abschnitt.

Elektrisches Verhalten verschiedener Körper, Elektrisirmaschinen und Elektrometer.

Elektricität des Maschinenpapieres. Daß Papier durch Reiben 1
elektrisch gemacht werden kann, ist längst bekannt; auch die Elektricitätserregung bei der Fabrikation des Maschinenpapiers ist keine neue Erscheinung, und es mag wohl wenig Besitzer von Papierfabriken geben, die sie nicht beobachtet hätten, jedoch wird diese Erscheinung zum ersten Male von Hankel (P. A. LV, 477) beschrieben.

An einer jeden Papiermaschine zeigt sich das Papier, nachdem es die letzten Preßwalzen verlassen hat, stark negativ elektrisch. Nähert man dem Papierbande zwischen den Satinirwalzen und dem Haspel, auf welchem es aufgewunden wird, den Finger, so fährt aus demselben ein Strahlenbüschel gegen das Papier hin; eine Leidener Flasche läßt sich leicht laden. Auch das auf den Haspel aufgewundene Papier zeigt sich elektrisch, namentlich wenn schon viel Papier auf den Haspel aufgewunden ist. Wird das Papier von dem Haspel abgeschnitten, und schlägt man die langen Papierbänder auseinander, so fahren sehr starke blitzende Funken dazwischen hin.

Es entsteht diese Elektricität offenbar nur durch die Erwärmung des Papiers und des Zusammenpressens desselben mittelst Walzen. Eine (gleitende) Reibung kann nicht stattfinden, weil die Umfangsgeschwindigkeit sämmtlicher Walzen genau gleich ist.

Schönbein's elektrisches Papier. Durch ein der Bereitung der 2
Schießbaumwolle ähnliches Verfahren ist es Herrn Schönbein gelungen, das Papier in eine vollkommen durchsichtige Substanz zu verwandeln, welche durch das geringste Reiben schon außerordentlich stark elektrisch wird (P. A. LXVIII, 159) und welches er zur Construction einer Elektrisirmaschine anwendete.

Eine solche Substanz muß dem experimentirenden Physiker im höchsten Grade willkommen seyn; um so mehr ist es zu bedauern, daß die Herren Schönbein und Böttger bisher noch nichts weiter publicirt haben, obgleich in Berlin elektrisches Papier zum Verkauf ausgeboten wird. — In sehr vielen Fällen läßt sich das elektrische Papier durch dünne Blätter von Gutta-Percha ersetzen.

3 **Elektricität der Gutta-Percha.** Gutta-Percha ist ein so guter Isolator und wird durch Reiben so stark elektrisch, daß diese Eigenschaften des jetzt so vielfach angewandten Stoffes nicht lange verborgen bleiben konnten. Schon gegen Ende des letzten Winters machte mich Dr. Hasenclever aus Aachen in dieser Beziehung auf die Gutta-Percha aufmerksam, und ich hatte sie schon zur Construction eines Elektrophors benutzt, als ich im Märzheft des philosoph. Magazine einen Aufsatz von Faraday über diesen Gegenstand fand, von dem im Maiheft von Poggendorff's Annalen eine Uebersetzung erschien (P. A. LXXIV, 154). Faraday sagt über die elektrischen und isolirenden Eigenschaften der Gutta-Percha im Wesentlichen Folgendes.

Ein gutes Stück Gutta-Percha isolirt ebenso vollkommen, wie ein gleiches Stück Schellack, es mag die Form einer Tafel, eines Stabes oder eines Fadens besitzen; allein da sie zäh und biegsam in der Kälte und weich in der Wärme ist, so thut sie in vielen Fällen bessere Dienste als der spröde Schellack. In Form von Streifen und Schnüren bildet sie ein vortrefflich isolirendes Aufhängemittel, und in Form von Platten liefert sie die zweckmäßigsten isolirenden Unterlagen.

Durch Reiben wird die Gutta-Percha stark negativ elektrisch. Einige Gutta-Percha wird in sehr dünnen Tafeln, kaum dicker als ein Papierblatt, verkauft; wenn ein Streifen von dieser zwischen den Fingern hindurchgezogen wird, so ist sie so elektrisch, daß sie an der Hand haftet und Papierstückchen anzieht.

Eine Tafel Gutta-Percha liefert ein vortreffliches Elektrophor.

Nicht alle Gutta-Percha ist ein so guter Isolator. Wenn ein gut isolirendes Stück durchgeschnitten wird, so hat die Schnittfläche einen Harzglanz und eine compacte Beschaffenheit, während sie bei einem schlecht isolirenden Stück nicht denselben Grad von Glanz besitzt, sich weniger durchscheinend erweist und nahe das Ansehn einer erstarrten trüben Lösung besitzt.

Wenn man ein leitendes Stück in einem Strome heißer Luft, oder in einem Glase über einer niedrigen Gasflamme erwärmt, ausstreckt, faltet und einige Zeit zwischen den Fingern knetet, wie wenn man die darin enthaltene Feuchtigkeit ausdrücken wollte, so wird es ein eben so guter Isolator wie das beste.

Ein gut isolirendes Stück Gutta-Percha vier Tage lang in Wasser eingeweicht, erhält durch zwölfstündiges Liegen an der Luft sein Isolationsvermögen wieder.

Ein nicht isolirendes Stück wurde durch achttägiges Liegen in einem Trockenschrank sehr verbessert, eine äußere Schicht ward isolirend; an frischen Schnittflächen zeigte sich aber das Innere noch leitend.

Gutta-Percha, einer allmälig bis auf 170 bis 180° C. gesteigerten Temperatur ausgesetzt, gab einen bedeutenden Antheil Wasser aus; nach dem Erkalten isolirte die Masse ebenso gut wie frische Gutta-Percha.

Elektricität des geriebenen Glases. Es ist bekannt, daß die Na- 4
tur der Elektricität, welche das Glas beim Reiben annimmt, davon abhängt, welches Reibzeug man anwendet. Nun aber hat Heintz (P. A. LIX, 305) ferner gezeigt, daß man durch verschiedene Mittel das Glas in einen solchen Zustand versetzen könne, daß es bei schwacher Reibung mit Körpern, die es sonst positiv elektrisch machen, negativ elektrisch wird.

Wenn man einen Glasstab mehrmals durch die Flamme einer Spirituslampe zieht, wodurch er jede Spur etwa an ihm haftender Elektricität verlieren muß, wird er durch schwaches Reiben mit Tuch, welches doch gewöhnlich das Glas positiv elektrisch macht, negativ elektrisch, und erst durch fortgesetztes und stärkeres Reiben tritt die positive Elektricität wieder auf.

Es ist nicht etwa die Wärme des Glasstabes, welche dies veranlaßt, denn wenn man den durch die Flamme gezogenen Stab vollständig erkalten, ja wenn man ihn mehrere Tage ruhig liegen läßt, so wird er bei schwachem Reiben mit Tuch doch negativ elektrisch.

Dieser Versuch zeigt, daß die Wärme nicht die unmittelbare Ursache des oben erwähnten Phänomens ist, es wäre aber doch möglich, daß die Wärme der Flamme die Ursache jenes Zustandes der Glasoberfläche sey, vermöge dessen sie schwach gerieben negativ elektrisch wird. Doch ist auch dies nicht der Fall, wie Heintz gezeigt hat.

Wenn man einen vollkommen gereinigten Glasstab mit Stanniol umwickelt oder ihn in ein Glasrohr steckt und ihn dann in die Weingeistflamme hält, so daß er nicht unmittelbar von der Flamme bespült, wohl aber erwärmt werden kann, so zeigt er die erwähnte Eigenthümlichkeit nicht, selbst wenn er zu sehr hohen Temperaturgraden erwärmt worden war.

Um dem Glasstab die Eigenschaft zu ertheilen, bei schwacher Reibung mit Tuch negativ elektrisch zu werden, ist es nicht nöthig ihn unmittelbar in die Flamme zu halten, es reicht hin, wenn man ihn in einem Abstande von etwa 3 Zoll über der Spitze der Flamme einer guten Weingeistlampe mit doppeltem Luftzuge hin und her bewegt.

Um die Glasstäbe gehörig zu reinigen, wurden sie mit Kalihydrat abgewaschen und mit destillirtem Wasser abgespült.

Andere Flammen brachten auf Glasstäbe im Wesentlichen dieselbe Wirkung hervor, wie die Weingeistflamme.

Eine chemische Wirkung der Verbrennungsproducte auf der Oberfläche des Glases kann nicht die Ursache der Erscheinung seyn, denn Wasserdämpfe bringen diese Wirkung nicht hervor, wohl aber die Flamme von brennendem Wasserstoffgas, wo sich doch auch nur Wasserdämpfe bilden.

Wenn man einen Glasstab in concentrirte Schwefelsäure, Salzsäure oder Salpetersäure taucht, ihn nach dem Herausnehmen mit destillirtem Wasser so lange abspült, bis das abfließende nicht mehr sauer reagirt, dann das noch an demselben haftende Wasser abschwenkt und den Rest an der Luft verdunsten läßt, so verhält sich der Stab gerade so, als sey er durch eine Weingeistflamme gezogen, er wird durch Reiben negativ elektrisch.

Alkalien wirken nicht so wie Säuren, sie erhalten den Glasstab vollständig positiv.

Zwischen verschiedenen Glasstücken zeigt sich ein großer Unterschied in Beziehung auf die Leichtigkeit der Annahme des besprochenen Zustandes.

Auf Bergkrystall, Kalkspath, Gyps und Schwerspath wirkt die Flamme eben so ein wie auf Glas.

Andererseits ist es nicht gelungen, solche Körper, die durch Reiben negativ zu werden pflegen, durch ähnliche Mittel so zu verändern, daß sie dadurch positive Elektricität annehmen.

In Beziehung auf das Reibzeug stellte sich heraus, daß bei diesen Versuchen das Tuch wohl durch Leder, Siegellack, Seide, aber nicht durch Kienmaier'sches Amalgam ersetzt werden könne; wird dagegen ein durch eine Weingeistlampe zu dem Versuch vorbereiteter Glasstab auf Stanniol gerieben, so zeigt er stets negative Elektricität; dasselbe geschieht auch noch bei Anwendung anderer Metalle; auch wenn man den präparirten Glasstab einmal in Quecksilber eintaucht, so zieht man ihn mit negativer Elektricität heraus. Durch wiederholtes Eintauchen wird er positiv.

Wenn man sagt, »daß der Glasstab, wenn er in die Flamme irgend eines brennbaren Körpers gehalten oder nur in concentrirte Säure getaucht wird, auf der Oberfläche eine Veränderung erleidet, die unmittelbar durch die Sinne nicht wahrgenommen werden kann, die sich aber durch das Elektroscop erkennen läßt«, so kann man dies keineswegs eine Erklärung, sondern nur einen modificirten Ausdruck für die Thatsache nennen.

5 **Ueber das elektrische Leitungsvermögen einiger Stoffe.** Rieß (P. A. LXIV, 51) hat mehrere Körper in Beziehung auf ihr Leitungsvermögen und ihre Fähigkeit durch Reiben elektrisch zu werden, untersucht.

Ein drei Linien dickes Stäbchen von Selen ist im Stande, ein gelade-

nes Goldblattelektrometer fast augenblicklich zu entladen, man kann mit Hülfe desselben Funken aus dem Conductor einer Elektrisirmaschine ziehen, isolirt angefaßt und an einer Stelle gegen Flanell gerieben, wurde es seiner ganzen Ausdehnung nach negativ elektrisch. In seinem gewöhnlichen Zustande ist also die Oberfläche des Selens leitend.

Als an einer Stelle der Oberfläche die Substanz durch Schmelzung erneuert wurde, leitete sie die Elektricität nicht so gut wie früher, und ein an der Flamme gezogener Selenfaden isolirte so gut wie Schellack. Mit Flanell, Leder, Leinenzeug oder auch nur durch die trockenen Finger gezogen, wird ein solcher Faden stark negativ elektrisch.

Das Selen gehört also zu den Nichtleitern der Elektricität und wird durch Reiben elektrisch, wenn seine Oberfläche ganz rein ist.

Jod ist ein unvollkommener Leiter der Elektricität. Ein $6^1/_4$ Linien dicker, $20^1/_2$ Linien langer Stab dieses Körpers entlud ein Elektroscop in einer Sekunde; ohne Isolation konnte dieser Cylinder nicht elektrisch gemacht werden, isolirt gegen Flanell gerieben wurde er schwach negativ elektrisch.

Der Retinasphalt ist ein Isolator, vorausgesetzt, daß man mit Stücken von reiner glasglänzender Oberfläche zu thun hat. Lederbraune Stücke mit rauher zerrissener Oberfläche dagegen sind leitend, wie dies ja auch bei Bernsteinstücken mit rauher Oberfläche der Fall ist.

Berillium und Aluminium sind in Pulverform, gehörig getrocknet, Nichtleiter der Elektricität.

Elektricitätserregung durch Wasserdampf, welcher aus engen 6
Oeffnungen ausströmt. Herr Armstrong zu Newcastle (P. A. LII, 328. Phil. Mag. Ser. vol. XVII, pag. 370 u. 452, vol. XVIII, p. 50) am Tyne wurde gegen Ende 1840 benachrichtigt, daß man zu Seghill, etwa 6 englische Meilen von Newcastle beim Ausströmen des Dampfes aus einem Dampfkessel eine sehr ungewöhnliche elektrische Erscheinung beobachtet habe. Aus einer undicht gewordenen Fuge in der Nähe des Sicherheitsventils strömte nämlich Dampf aus; der Maschinenwärter faßte, während er zufällig die eine Hand in den Dampfstrahl hielt, mit der andern nach dem Hebel des Ventils, um seine Belastung zu ajustiren, als zwischen diesem Hebel und seiner Hand ein Funken überschlug und er einen starken elektrischen Schlag erhielt.

Armstrong begab sich an Ort und Stelle und fand diese Angaben bestätigt; nur waren die Funken nicht mehr so kräftig, wie man sie vorher beobachtet hatte, was er dem Umstande zuschrieb, daß Tags vor seiner Ankunft der Kessel von einer dünnen Kalk-Incrustation befreit worden war, was jedoch, wie sich durch spätere Untersuchungen herausstellte, durchaus keinen Einfluß auf die Elektricitätserregung hat.

In weiterem Verlaufe der Untersuchung stellte sich Armstrong auf einen Isolirschemel und fand, daß alsdann die Funken weit stärker waren. Ein Metallstab, an dessen einem Ende sich eine Messingplatte befand, während das andere Ende mit einer Kugel versehen war, wurde mittelst einer isolirenden Handhabe so gehalten, daß die Platte in den Dampfstrahl kam; der ganze isolirte Leiter zeigte sich nun elektrisch und man konnte aus dem Knopfe Funken ziehen. Wurde der Knopf dem Kessel bis auf 1/4 Zoll genähert, so schlugen 60 bis 70 Funken in der Minute über. Die größte Entfernung zwischen Knopf und Kessel, bei welcher noch ein Funke erschien, war 1 Zoll.

Die Belastung des Ventils betrug 35 Pfund auf den Quadratzoll. Die Stärke der Elektricitätserregung nahm mit der Spannung des Dampfes im Kessel zu und ab.

Die Elektricität des Dampfes und des in denselben gehaltenen Leiters war positiv.

An andern Kesseln angestellte Versuche gaben ähnliche Resultate; besonders kräftige Funken wurden mit einer Locomotive erhalten. Armstrong stand auf einem Isolirschemel und nahm in die eine Hand einen leichten Eisenstab, der in den dem Sicherheitsventil entströmenden Dampf gehalten wurde. Näherte er nun die andere Hand einem unisolirten Leiter, so erhielt er 1 Zoll lange Funken. Die Funkenlänge nahm bis auf 2 Zoll zu, als der Stab 5 bis 6 Fuß über das Sicherheitsventil gehalten wurde.

Auch aus der unter dem Schoppen, in welchem die Locomotive stand, sich anhäufenden Dampfwolke ließ sich, wie durch Blitzableiter aus einer Gewitterwolke, Elektricität herabziehen.

Als das obere Ende des in der Hand gehaltenen Stabes mit einem Bündel spitzer, nach unten gerichteten Drähte versehen wurde, konnte man am unteren mit einem Knopf versehenen Ende 4 Zoll lange Funken erhalten.

Um die negative Elektricität nachzuweisen, welche der positiven Elektricität des ausströmenden Dampfes entspricht, wurde die Locomotive von den Schienen abgehoben und mit ihren Rädern auf isolirende Unterlagen gestellt. Jede dieser Unterlagen bestand aus zwei Stücken gedörrten mit Pech überzogenen Holzes, getrennt durch eine Zwischenlage von Pech und Packpapier. Hierauf brachte man das Wasser im Kessel ins Sieden. So lange der Dampf eingeschlossen blieb, gab der Kessel keine Anzeige von Elektricität, so wie man ihn aber entweichen ließ, zeigte sich der Kessel stark negativ.

Die Funken aus dem Kessel waren nie länger als 1 Zoll, was leicht begreiflich ist, wenn man bedenkt, daß die Elektricität des Kessels wegen

der vielen Ecken und Hervorragungen der Locomotive keine hohe Spannung erreichen konnte.

Die Versuche, welche Armstrong anstellte, um die Quelle der an Dampfkesseln beobachteten Elektricität zu ermitteln, können hier füglich übergangen werden, da sie zu keinem entscheidenden Resultat führten; wir gehen sogleich zu den Untersuchungen über, welche Faraday über diesen Gegenstand anstellte.

Faraday's Untersuchungen über Hydroelektricität. Das We- 7
sentlichste der Resultate, welche Faraday's Untersuchungen über Hydroelektricität lieferten, ist bereits in meinem Lehrbuch der Physik (3e Aufl. 2r Th. S. 82) erwähnt, hier bleiben deshalb nur noch einige Details zu besprechen.

Der von Faraday angewandte Apparat (P. A. LX, 321) war nicht darauf berechnet, Dampf in Menge oder von hohem Druck zu liefern, da es sein Zweck war, die Ursache der Erscheinung zu ermitteln und nicht die Erregung der Elektricität zu verstärken. Sein Kessel hielt 10 Gallonen (45 Liter) Wasser und gestattete 5 Gallonen zu verdampfen. An diesem Kessel war eine 4,5 Fuß lange Röhre befestigt, welche ungefähr 3/4 Zoll Durchmesser hatte und an ihrem Ende eine Kugel von ungefähr 4 Zoll Durchmesser trug, die er die Dampfkugel nennt und an welche verschiedene Mundstücke angeschraubt werden können.

Fig. 1.

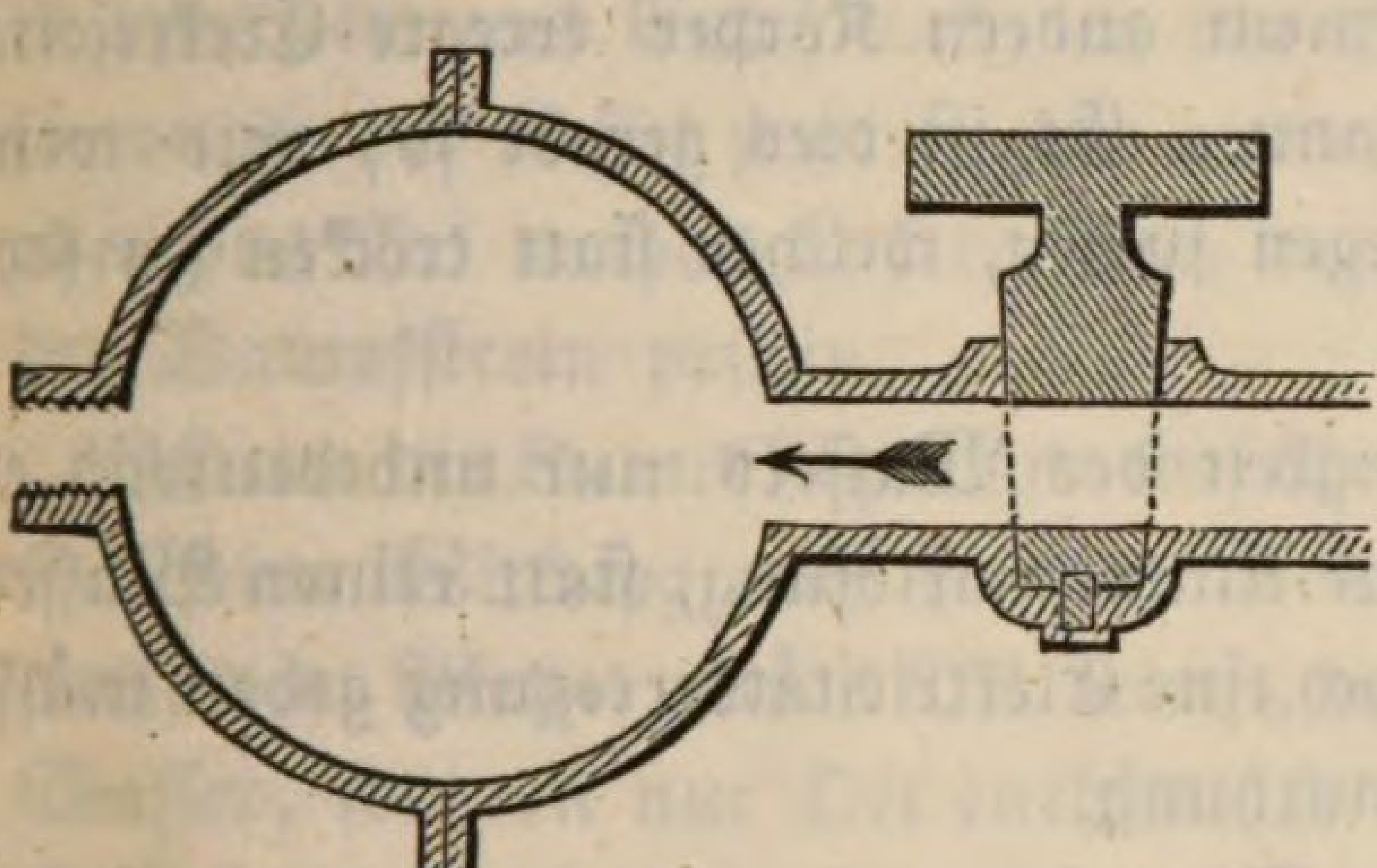
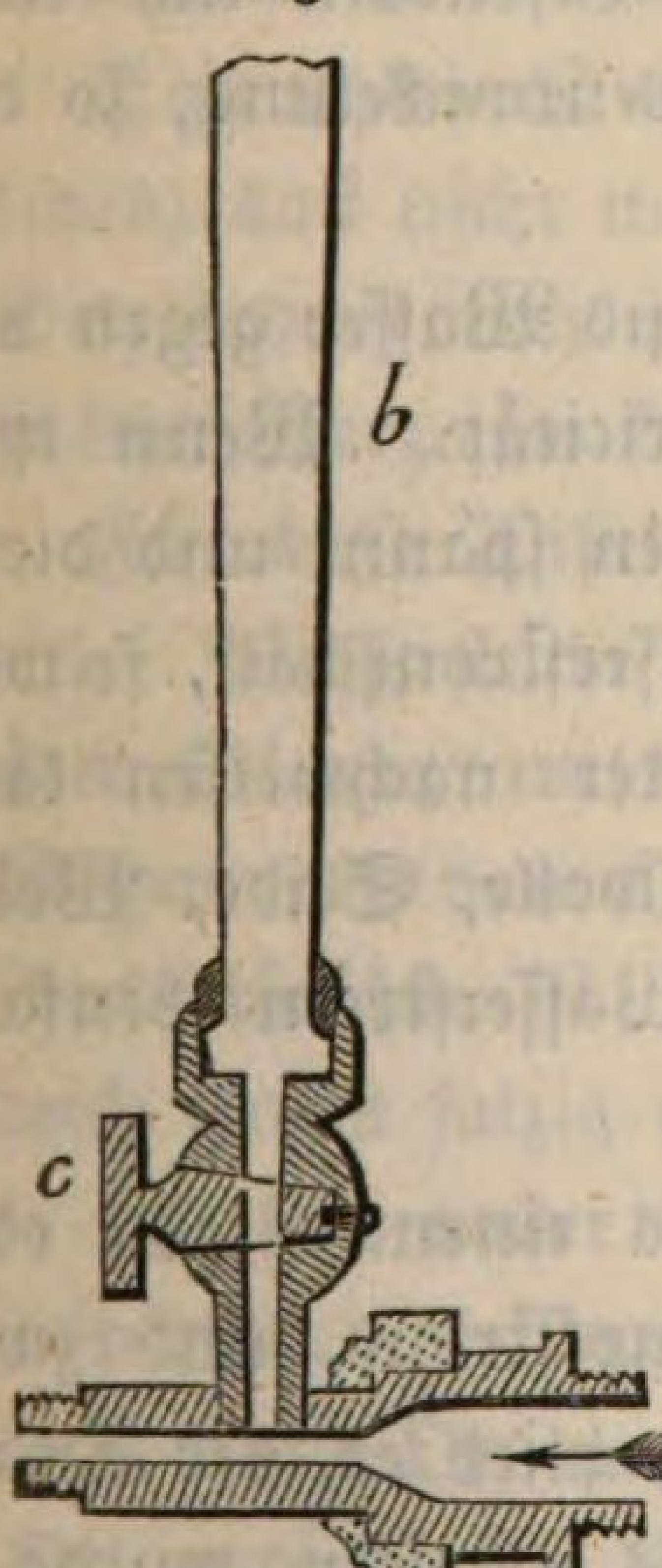


Fig. 2.



Der Kessel war gut isolirt. —

Als Mundstück sey ein in Wasser getränktes Buchsbaumröhrchen an die Dampfkugel angeschraubt. Wenn die Dampfkugel kein Wasser enthält, so erregt nach den ersten Momenten, und sobald der Apparat heiß ist, der ausströmende Dampf keine Elektricität. Ist aber die Kugel so weit mit Wasser gefüllt, daß Wasser durch den Dampf mit fortgetrieben wird, so erscheint eine Fülle von Elektricität.

Ist statt des Buchsbaumröhrchens der Apparat Fig. 2 angeschraubt, welcher aus einem Röhrchen besteht, in welches von oben her durch Oeffnen eines Hahnes aus einem schmalen Gefäß *b* Wasser eingelassen werden kann; so erhält man durch das

Ausströmen des Dampfes keine Elektricität, wenn die Dampfkugel leer von Wasser und der Hahn *c* geschlossen ist; sobald man aber den Hahn öffnet, so daß Wasser in das Ausströmungsrohr tröpfelt und durch den Dampf mitgerissen wird, so entwickelt sich sogleich Elektricität.

Daraus geht hervor, daß der Dampf allein nicht genügend ist, um Elektricität zu entwickeln, es muß nothwendig condensirter Dampf, also tropfbar flüssiges Wasser, sich an die Wände des Ausflußkanals reiben, oder mit andern Worten, die Elektricität entspringt gänzlich aus der Reibung der vom Dampfe fortgeführten Wassertheilchen.

Läßt man durch den Apparat, Fig. 2, statt reinen Wassers solches Wasser in die Ausflußröhrchen ein, in welchem nur eine geringe Menge irgend eines Salzes aufgelöst, oder welches etwas Säure enthält, so hört alle Elektricitätsentwickelung auf.

Dies rührt, wie Faraday richtig bemerkt, daher, daß die Leitungsfähigkeit des Wassers durch diese Substanzen so erhöht wird, daß die bei seiner Reibung an Metall oder einem andern Körper erregte Elektricität sich unmittelbar wieder entladen kann. Es ist dies gerade so, wie wenn wir Schellack durch Flanell zu erregen suchen, welcher statt trocken zu seyn feucht ist.

Da Ammoniak die Leitungsfähigkeit des Wassers nur unbedeutend erhöht, so schloß Faraday, daß eine Ammoniaklösung, statt reinen Wassers in die Ausflußröhrchen gebracht, noch eine Elektricitätserregung geben müsse. Der Versuch bestätigte diese Vermuthung.

Metalle, Holz, Glas, Schellack, Schwefel u. s. w. werden durch Reiben mit dem Dampf- und Wasserstrom negativ, während der Strom selbst mit positiver Elektricität entweicht. Ein Röhrchen von Elfenbein als Ausflußmündung benutzt, giebt fast gar keine Elektricitätsentwickelung, so daß weder der Kessel noch der Dampfstrom elektrisch ist.

Läßt man den unelectrischen Strom von Dampf und Wasser gegen verschiedene Körper stoßen, so entwickelt sich hier Elektricität. Wenn man über eine Gabel von steifem Draht Drähte oder Fäden spannt und dieses Geflecht isolirt in den nichtelektrischen Dampf- und Wasserstrom hält, so wird es elektrisch, wie sich mit einem Goldblattelektrometer nachweisen läßt. Auf diese Weise fand Faraday, daß Leinen, Baumwolle, Seide, Wolle, Garn u. s. w. durch die Reibung mit dem Dampf-Wasserstrom ebenfalls negativ elektrisch werden.

Als Faraday einen isolirten Draht in den aus einem Glas- oder Metallrohr kommenden, also positiv elektrischen Dampfstrom, und zwar ungefähr ½ Zoll von der Mündung des Rohrs hielt, blieb er, der Draht nämlich, unerregt; näher bei der Mündung des Rohrs gehalten, wurde er negativ, weiter davon entfernt hingegen positiv. — Es kommt dies daher,

daß der Draht, wenn er dem Rohre nahe ist, in dem kräftigen Theile des Stroms erregt und negativ wurde, wobei der Dampf- und Wasserstrom positiver wurde als zuvor; weiter weg hingezogen, in dem ruhigen Theile des Stromes findet keine merkliche Erregung durch Reibung Statt, der Draht dient hier nur als Entlader des positiven Dampfstroms, von dem er einen Theil seiner positiven Elektricität aufnimmt.

Bringt man durch den Hahn, Fig. 2, etwas Terpentinöl in die Ausflußröhre, so wird der Kessel positiv, der ausströmende Dampf negativ; wenn der Hahn wieder geschlossen wird, so kehrt sich der Zustand bald wieder um, weil das Oel sehr rasch verschwindet. Mit Olivenöl sind die Erscheinungen im Allgemeinen dieselben, d. h. der Strom von Dampf und Wasser wird negativ, der Kessel positiv, doch ist dieser Zustand bleibender. Sehr wenig Olivenöl in die Ausgangsröhre gebracht, macht den Kessel für lange Zeit positiv.

Nahm man eine Holzröhre zum Erregen und brachte man etwas Oel in deren inneres Ende, d. h. an das Ende, in welches der Dampf eintritt, so wurde der Kessel positiv, der austretende Dampf negativ, brachte man aber das Oel an das äußere Ende der Röhre, so wurde der Kessel negativ, der Dampfstrom positiv.

Ist an die Dampfkugel eine einfache Ausflußröhre angeschraubt, so bringt Oel seine Wirkung auch hervor, wenn man auf das in der Dampfkugel enthaltene Wasser etwas Oel bringt, wenn jedoch die Dampfkugel gar kein Wasser, sondern nur Oel enthält, so fand gar keine Elektricitätserregung Statt.

Speck, Wallrath, Bienenwachs, Ricinusöl, Harz gelöst in Alkohol und Lorbeeröl wirken wie Baumöl und Terpentinöl.

Faraday ist nun der Meinung, daß diese Wirkungen so zu erklären seyen, daß nicht mehr Wasser an den Kanalwänden sich reibt, sondern das Oel, indem wohl jedes kleine Wasserkügelchen mit einer ganz dünnen Oelschicht überzogen sey.

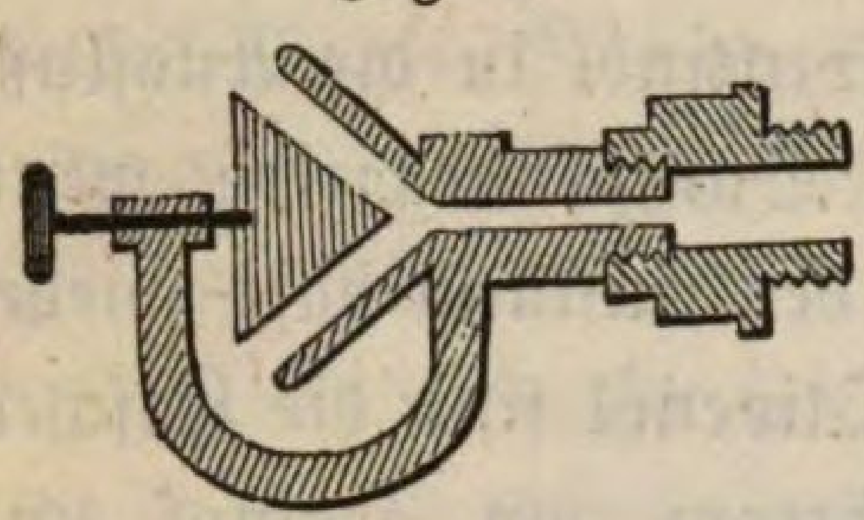
Für diese Ansicht führt er an, in welch dünne Schichten sich Oel auf einer Wasserfläche ausbreite, ferner aber, daß der Zusatz von etwas Salz oder Säure, welcher sonst alle Erregung von Elektricität vernichtet, bei Gegenwart von Oel diese Wirkung nicht hat, d. h. wenn Oel in der Ausflußröhre ist, so findet noch eine Erregung Statt, wenn das Wasser auch etwas salzig oder sauer ist.

Ich sehe unter diesen Thatsachen jedoch keine einzige, welche mit der mir wenigstens viel natürlicher scheinenden Ansicht in Widerspruch stände, daß man nicht Oel an den Kanalwänden, sondern Wasser an den durch das Oel veränderten Kanalwänden reibend zu betrachten habe, eine Ansicht, die auch Faraday nicht ganz ausschließt, indem er sagt: »Es ist sehr

wahrscheinlich, daß, wenn Holz, Glas oder selbst Metall durch diese Oelströme gerieben wird, das Oel nicht bloß reibend an Holz u. s. w., sondern auch an Wasser betrachtet werden muß u. s. w.«

Läßt man aus einem Gefäß, in welchem sich comprimirte Luft befindet, diese gegen einen Kegel von Holz oder Messing strömen, der vor der Ausflußöffnung so angebracht ist, wie man Fig. 3 sieht (ob dieser Kegel mit dem Gefäß, in welchem sich die comprimirte Luft befindet, bei diesen Versuchen in leitender Verbindung war oder nicht, läßt sich aus der Faraday'schen Darstellung nicht entnehmen), so fand gar keine Elektricitätserregung Statt, sobald die Luft gehörig getrocknet war; war aber die Luft feucht, so wurde der Kegel negativ.

Fig. 3.



Faraday schreibt diese Elektricitätserregung den Wassertheilchen zu, welche durch die Ausdehnung und Abkühlung der am Kegel sich reibenden Luft verdichtet werden. Solche Theilchen werden in dem erscheinenden Nebel sichtbar, sowie auch dadurch, daß sie die Oberfläche des Holzes oder des Metalls feucht machen.

Wenn der Luftstrom Wassertheilchen, die er auf seinem Wege mitgerissen hatte, gegen den Kegel schleuderte, so wurde er (der Kegel) natürlich auch negativ erregt.

Wenn der Luftstrom gepulverte Körner mit sich führt, so sind auch diese zur Elektricitätserregung fähig. Schwefelblumen z. B. machen Holz und Metall negativ, Kieselerde machte beide positiv. Andere Körper, wie gepulvertes Harz und Gummi, gaben unstete Resultate.

8 **Elektricitätserregung durch Ausströmung flüssiger Kohlensäure.** Am obern Ende einer starken Glassäule brachte Jolly eine Holzfassung an, welche geeignet ist, um daran den Kolben der Natterer'schen Condensationsmaschine so zu befestigen, daß die Ausströmungsöffnung nach unten gerichtet ist. Sobald diese Oeffnung aufgeschraubt wird, und nun die flüssige Kohlensäure ausströmt, wird der Kolben elektrisch, so daß man kleine Fünkchen aus ihm ziehen kann.

9 **Armstrong's Hydroelektrisirmaschine.** Die Beschreibung dieser Maschine findet sich schon in meinem Lehrbuch der Physik. Vor den größten und besten Scheibenmaschinen zeichnet sie sich nicht sowohl durch eine höhere Spannung, als dadurch aus, daß sie eine ungleich größere Quantität von Elektricität liefert. Die Funkenlänge ist nicht größer als bei den ausgezeichnetsten Scheibenmaschinen, alle Wirkungen aber, bei denen es darauf ankommt, in kurzer Zeit eine große Elektricitätsmenge zu liefern, sind bei der Hydroelektrisirmaschine viel ausgezeichneter.

Die größte Kraft entwickelt sie, wenn die Elektricität in Form eines

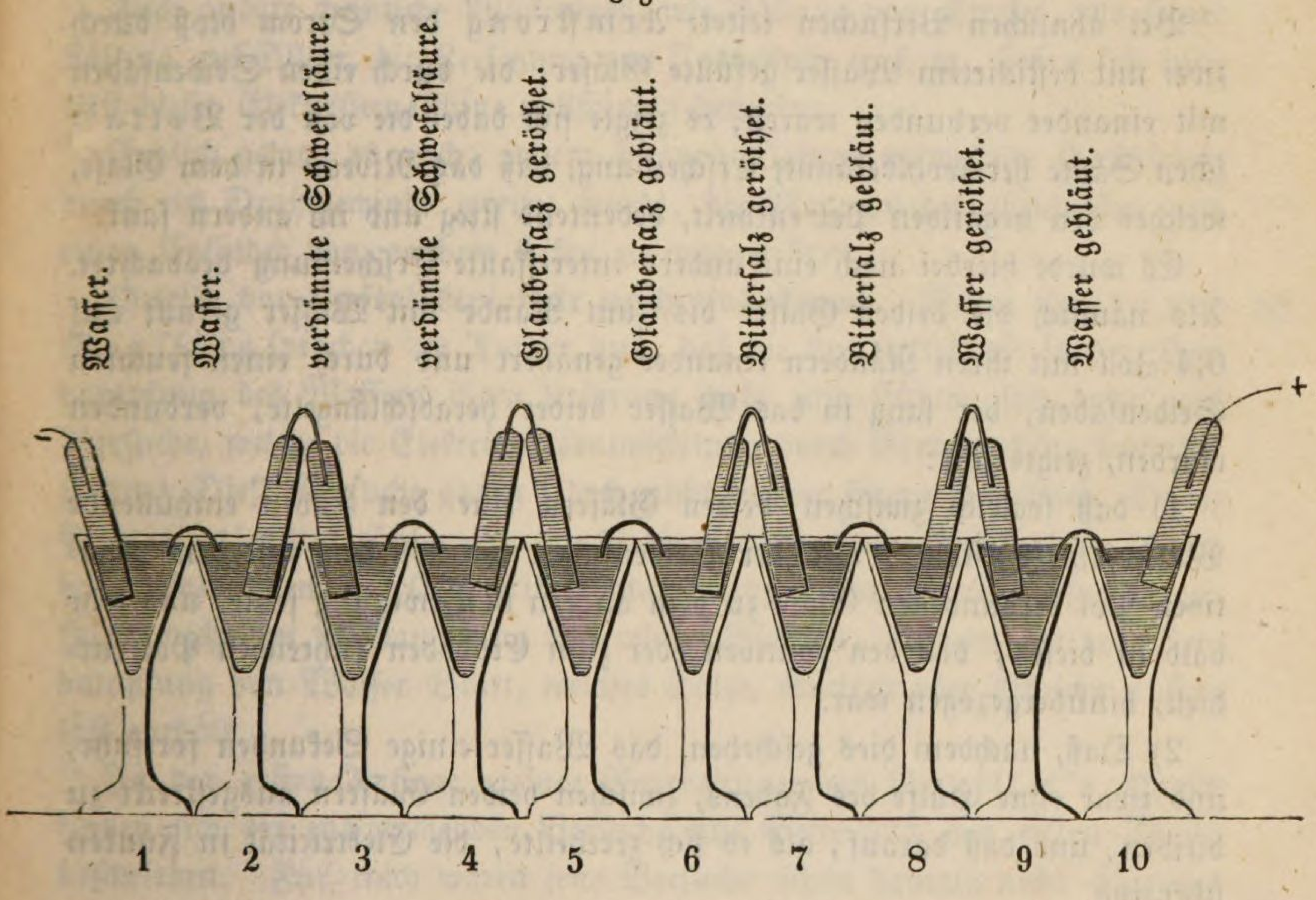
Stromes, ohne zerreißende Entladung ausgezogen wird. — So wird die wahre elektrolytische Wasserzersetzung, welche bisher niemals unzweifelhaft mit Reibungselektricität erhalten wurde, auf die klarste und entschiedenste Weise durch die Hydroelektrisirmaschine erhalten.

Es wurden 10 Weingläser in eine Reihe gestellt. Es enthielten

1 und 2 destillirtes Wasser,
3 und 4 destillirtes Wasser + $1/_6$ Volumen Schwefelsäure,
5 Glaubersalzlösung geröthet mit gesäuertem Lakmus,
6 Glaubersalzlösung gebläut mit Lakmus,
7 Bittersalzlösung geröthet mit gesäuertem Lakmus,
8 Bittersalzlösung gebläut mit Lakmus,
9 destillirtes Wasser geröthet mit gesäuertem Lakmus,
10 destillirtes Wasser gebläut mit Lakmus.

Glasröhren von $3^1/_2$ Zoll Länge, die oben geschlossen, mit den respectiven Flüssigkeiten gefüllt und am obern Ende mit eingeschmolzenen, theils hinein, theils herausragenden Platindrähten versehen waren, verbanden mittelst dieser Drähte, wie man Fig. 4 sieht, die Gläser 2 und 3, 4 und 5,

Fig. 4.



6 und 7, 8 und 9, während 1 und 2, 3 und 4, 5 und 6, 7 und 8, 9 und 10 durch nasse Baumwollfäden verbunden waren, und zwei Röhren von der beschriebenen Einrichtung die eine im Glas Nro. 1, die andere im Glase Nro. 10 sich befanden. Der Draht des Röhrchens im Glase Nro. 1

war mit dem Kessel, der Draht des Röhrchens im Glas Nro. 10 mit einer bleiernen Röhrenleitung in leitender Verbindung.

Sowie die Dampfelektrisirmaschine in Thätigkeit gesetzt wurde, erschienen Gasblasen an allen Drähten, an den negativen genau in doppelter Volummenge, als an den positiven, und es zeigte sich bei nachheriger Untersuchung, daß das erstere Wasserstoff, das letztere Sauerstoff war. Nach 2—3 Minuten wurde das Wasser im Glase Nro. 9 rings um den Draht blau, in 10 aber roth, und ähnliche Farbenveränderungen traten, wenn auch nicht so rasch, in den Glaubersalz- und Bittersalzlösungen ein.

Der Versuch wurde fortgesetzt, bis die Spannkraft des Dampfes von 75 Pfund auf 40 Pfund pro Quadratzoll herabgesunken war. Dann wurde der Dampf abgesperrt, der Kessel verschlossen gehalten, bis die Spannkraft wieder auf ihren anfänglichen Werth gelangt war, und nun der Versuch nochmals wiederholt, und zwar stets mit demselben Erfolg.

Es war keine Abnahme in der Menge der entwickelten Gase zu spüren, wenn in dem Ableitungsdraht irgendwo eine kleine Unterbrechung angebracht war, so daß die Elektricität statt in einem stetigen Strom überzugehen, es in kurzen Funken that.

Bei ähnlichen Versuchen leitete Armstrong den Strom bloß durch zwei mit destillirtem Wasser gefüllte Gläser, die durch einen Seidenfaden mit einander verbunden waren; es zeigte sich dabei die von der Volta'schen Säule her wohlbekannte Erscheinung, daß das Niveau in dem Glase, welches den negativen Pol enthielt, bedeutend stieg und im andern sank.

Es wurde hierbei noch eine andere interessante Erscheinung beobachtet. Als nämlich die beiden Gläser bis zum Rande mit Wasser gefüllt auf 0,4 Zoll mit ihren Rändern einander genähert und durch einen feuchten Seidenfaden, der lang in das Wasser beider herabschlängelte, verbunden wurden, zeigte sich:

1) daß sogleich zwischen beiden Gläsern eine den Faden einhüllende Wassersäule entstand, und der Seidenfaden sich von dem mit dem negativen Pol verbundenen Glase zu dem andern in Bewegung setzte, und sehr bald in dieses, das den positiven oder zum Erdboden führenden Pol enthielt, hinübergezogen war.

2) Daß, nachdem dies geschehen, das Wasser einige Sekunden fortfuhr, und zwar ohne Hülfe des Fadens, zwischen beiden Gläsern ausgestreckt zu bleiben, und daß darauf, als es sich zertheilte, die Elektricität in Funken überging.

3) Daß, wenn der Seidenfaden mit seinem Ende im negativen Glase befestigt ward, das Wasser im positiven Glase ab-, im negativen zunahm, deutlich zeigend, daß seine Bewegung der des Fadens bei freier Beweglichkeit entgegengesetzt war.

4) Bei Aufschüttung von Staubtheilchen auf die Oberfläche des Wassers gewahrt man, daß zwischen den Gläsern zwei entgegengesetzte Ströme vorhanden waren, ein innerer, vom negativen zum positiven Glase, und ein äußerer, den andern einschließend, vom positiven zum negativen. Zuweilen reichte der äußere Strom nicht in das negative Glas, sondern tröpfelte an der Außenseite derselben herab und dann häufte sich das Wasser nicht im negativen Glase an, sondern verminderte sich in beiden.

5) Nach vielen fruchtlosen Versuchen gelang es, das Wasser auf mehrere Minuten ohne Hülfe eines Fadens von einem Glase zum andern übergehend zu machen. Nach Verlauf dieser Zeit konnte an der Wassermenge in beiden Gläsern keine merkliche Veränderung wahrgenommen werden. Es schien daher, daß die beiden Ströme beinahe, wenn nicht ganz, gleich seyen, sobald der innere nicht durch die Reibung am Faden verzögert wird.

Für das Gelingen dieses Versuchs ist es wesentlich, daß das Wasser vollkommen chemisch rein sey. Die geringste Verunreinigung macht das Wasser auf dem Faden sieden, der Faden wird beinahe trocken und durch die vom elektrischen Strome entwickelte Hitze zerstört.

Auch andere chemische Wirkungen, wie Fällung von Kupfer aus seiner Lösung auf Silber, die Zersetzung von Jodkalium u. s. w., ließen sich mittelst dieser Elektrisirmaschine vollständig bewirken.

Endlich gelang es auch, indem die von Dampf entwickelte Elektricität durch ein Drahtgewinde geleitet wurde, die Magnetnadel abzulenken und einen Cylinder von weichem Eisen zu magnetisiren.

Quelle der Luftelektricität noch unbekannt. Schon Volta und 10
Saussüre sprachen die Ansicht aus, daß die Luftelektricität in der Verdampfung des Wassers ihren Ursprung habe und stützten sich dabei auf Versuche, welche die Elektricitätsentwickelung durch Verdampfung beweisen sollten. Diese Versuche gaben jedoch nicht immer sichere Resultate. Durch Pouillet's Untersuchungen wurde die Ursache dieser Unsicherheit scheinbar aufgefunden; die Elektricitätsentwickelung findet, seinen Versuchen zufolge, nicht bei Verdampfung des reinen Wassers, sondern bei der Verdampfung von Wasser Statt, welches Salze, Säuren oder Alkalien aufgelöst enthält.

In der ersten Auflage meiner Bearbeitung von Pouillet's Physik finden sich die entsprechenden Versuche auf Seite 521 des ersten Theils beschrieben. Für mich waren jene Versuche schon damals nicht überzeugend, sie schienen mir nicht mit der nöthigen Vorsicht und Umsicht angestellt zu seyn, um die Pouillet'sche Ansicht außer Zweifel zu setzen, was mich bestimmte, den entsprechenden Paragraphen des Lehrbuchs mit dem Wunsche zu schließen, es möchte eine kritische Wiederholung dieser Ver-

suche vorgenommen werden. — In den spätern Auflagen meines Lehrbuchs der Physik habe ich den ganzen Paragraphen weggelassen, weil mir sein ganzer Inhalt noch zu problematisch und deshalb für ein Lehrbuch nicht geeignet schien.

Durch Armstrong's Entdeckung und Faraday's Untersuchung der Elektricitätserregung durch ausströmenden Dampf wurde nun für die Auslegung der Versuche Pouillet's ein neuer Standpunkt gewonnen, von welchem aus Reich und Rieß dieselben wiederholten und das wahre Sachverhältniß ermittelten.

Reich hat seine Versuche in den »Abhandlungen bei der Begründung der königl. sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften u. s. w.«, herausgegeben, Leipzig 1846, Seite 199 publicirt.

Die von Pouillet angeführten Versuche fand er bestätigt. Läßt man in einen reinen mit einem empfindlichen Elektroscop verbundenen und isolirten Platintiegel, den man vorher erhitzt, dann aber von der Wärmequelle entfernt hat, reines Wasser eintropfen und verdampfen, so erhält man keine Elektricität, weder mit noch ohne Condensator.

Tropft man eine Kochsalzlösung in den heißen Tiegel, so erhält man anfänglich, so lange der Tropfen wegen zu großer Hitze des Tiegels kugelförmig umhertreibt, ebenfalls keine, oder nur sehr geringe Spuren von Elektricität, sobald aber bei hinlänglicher Abkühlung des Tiegels die Flüssigkeit aufkocht, ladet sich der Elektroscop negativ und zwar bei einem großen Tiegel ziemlich stark.

Die Anwendung des Condensators bringt kaum merklichen Vortheil, indem man ohne Condensator fast denselben Ausschlag erhält, wie mit demselben.

Dies und den Umstand, daß die Elektricitätsentwickelung so plötzlich mit dem Aufkochen eintritt, betrachtet Reich als eine besondere Stütze für die Ansicht, daß hier die Elektricitätsentwickelung nicht die Folge der Verdampfung ist, sondern daß lediglich die Reibung der umhergespritzten Wassertheilchen an den heißen Tiegelwänden die Ursache derselben ist.

Daß, wenn hier Reibung die Ursache der Elektricitätsentwickelung ist, erst dann eine starke Entwickelung derselben stattfinden kann, wenn die Wassertheilchen heftig umhergeschleudert werden, ist klar. Beim Eintröpfeln der Flüssigkeit zeigen sich zuweilen Spuren von Elektricität, weil dabei einzelne Theilchen zurückspritzen können.

Die durch Reibung der umhergespritzten Theilchen an den Tiegelwänden entwickelte Elektricität hat eine ziemlich bedeutende Spannung, so daß sie das Goldblättchen des Elektroscops zur Divergenz bringt, allein die Elektricitätsentwickelung ist nicht nachhaltig und deshalb hilft der Condensator nichts.

Daß bei Anwendung von reinem Wasser keine Elektricitätsentwickelung stattfindet, ist wohl so zu erklären, daß bei Salzlösungen das tumultuarische Kochen schon beginnt, während die Gefäßwände noch eine weit höhere Temperatur haben, als es der Fall ist, wenn das reine Wasser ins Kochen kommt. Das reine Wasser findet, wenn seine Theilchen umhergespritzt werden, die Tiegelwände schon so weit erkaltet, daß sie benetzt werden, während sie bei Salzlösungen noch so heiß sind, daß sie daran hinrollen.

In einem Platintiegel, welcher mit einem Elektroscop gehörig verbunden war, brachte Reich Quarzsand, Porzellanstückchen, geröstete Eisenfeile u. s. w. ins Glühen, entfernte die Lampe und bespritzte diese Körper mit reinem Wasser. Während dies im leeren Tiegel keine Spur von Elektricität gab, fand sich unter diesen Umständen stets eine sehr merkliche Elektricitätsentwickelung.

Rieß sagt in einem kleinen Aufsatz (P. A. LXIX, 286), die Abhandlung Reich's habe ihn an die Versuche erinnert, welche er über denselben Gegenstand schon im Jahre 1844 angestellt habe, und unter denen er den folgenden als besonders schlagend und lehrreich hervorhebt.

Ein Platinlöffel mit runder Höhlung, die 0,24 Grammen Wasser faßte, wurde isolirt und durch einen Draht mit dem Stift eines Behrens-Fechner'schen Elektroscops verbunden. Der Platinlöffel wurde durch eine untergestellte Weingeistlampe weißglühend gemacht, die Lampe rasch entfernt, und mit einer Pipette eine bestimmte Menge Kochsalzlösung in den Löffel gebracht, die denselben beinahe anfüllte. Die Flüssigkeit rundete sich ab, rotirte und wurde bei einem gewissen Grade der Abkühlung mit tumultuarischer Verdampfung aus dem Löffel geschleudert. Während dieses ganzen Verlaufs zeigte sich am Elektroscop keine Elektricität.

Nun wurde ein Platinblech zu einem Cylinder von 17 Linien Höhe und 5 Linien Durchmesser aufgerollt und, nachdem derselbe auf die Höhlung des Löffels gestellt worden war, der vorige Versuch wiederholt. Bei der gewaltsamen Verdampfung der Flüssigkeit wurde so viel $-E$ frei, daß das Goldblättchen an dem entsprechenden Pol anschlug.

Dieser Versuch, welcher stets mit gleichem Erfolge erhalten werden konnte, wenn die Platinflächen zuvor von dem ausgeschiedenen Salz befreit worden waren, lehrt uns, daß in den bekannten Pouillet'schen Versuchen nicht die chemische Trennung, welche die Verdampfung begleitet, Ursache der Elektricitätserzeugung ist, sondern die Reibung der feinzertheilten Flüssigkeit gegen die Tiegelwand, unter der Bedingung, daß die Flüssigkeit über die Wand fortrolle, ohne dieselbe zu benetzen.

Bei allmäliger Verdampfung konnte Rieß nicht eine Spur von E nachweisen. Ebenso konnte Reich durch Verdampfung unter dem Siedepunkt nicht die allergeringste Elektricitätsentwickelung entdecken.

Alle Versuche, welche Reich anstellte, um eine etwaige Elektricitätsentwickelung durch Condensation von Wasserdämpfen zu entdecken, gaben durchaus negative Resultate.

Rieß wiederholte auch die Versuche Pouillet's über die Elektricitätsentwickelung durch den Vegetations-Prozeß. Eine isolirte Porzellanwanne wurde mit Gartenerde gefüllt und in diese Gartenkresse gesäet. Die stets gehörig feucht gehaltene Erde war durch einen Messingdraht mit der Collectorplatte eines 6zölligen Condensators verbunden. Die abgehobene Condensatorplatte wurde an einem Säulenelektroscop geprüft. — Vom März bis zum August 1844 ließ Rieß 11 mal Gartenkresse in der Erde keimen und untersuchte den Condensator täglich, bis die Kresse die Höhe von 2 Zoll erreicht hatte. Häufig fanden sich Spuren von Elektricität am Condensator, aber nicht von constanter Art; einige Controllversuche mit unbesäeter Erde machen es wahrscheinlich, daß jene elektrische Spuren nicht von der Vegetation herrühren.

Aus allen diesen Versuchen geht hervor, daß die Meinung, als ob Verdampfung und Vegetationsprozeß die Ursachen der Luftelektricität seyen, durchaus nicht experimentell begründet ist.

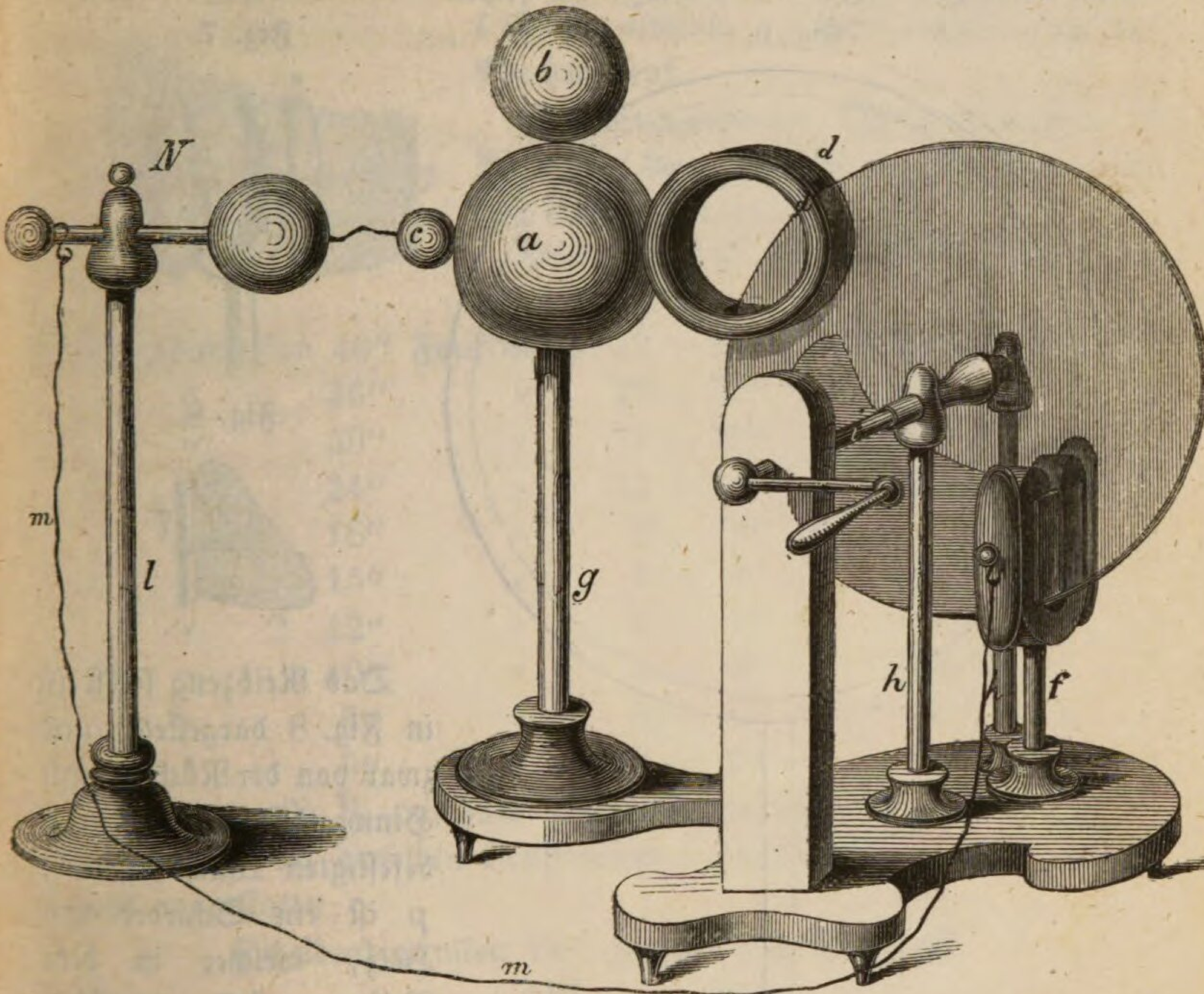
11 **Die Elektrisirmaschine.** Die Elektrisirmaschine gehört zu den verbreitetsten und bekanntesten physikalischen Apparaten, und dennoch wird man nur selten kräftige Elektrisirmaschinen zu billigen Preisen erhalten können; ich glaube deshalb, daß es Manchem von Interesse seyn wird, die Construction der Elektrisirmaschinen kennen zu lernen, nach welcher Herr Carl Winter (k. k. Catastral-Lithograph und Elektriker, Wien, Wieden-Waaggasse Nr. 501) Maschinen von ausgezeichneter Wirksamkeit und zu sehr billigen Preisen baut.

Fig. 5 stellt eine Maschine von 15zölliger Scheibe, ungefähr in $1/9$ der natürlichen Größe dar, welche 7 bis 9 Zoll lange Funken giebt. Die Umdrehungsaxe i der Scheibe, so wie die Säulen h, i, g, f und l sind von Glas. Die Säulen h tragen die Axe der Scheibe, f trägt das Reibzeuggestell, g trägt den Conductor, l den Funkenzieher.

Der Conductor a sammt der Kugel b und c sind von Messingblech. Um die Ableitung der Elektricität durch die Säule g möglichst gering zu machen, hat der Conductor a die schon von Van Marum bei der großen Harlemer Maschine mit Erfolg angewandte Form, welche man aus dem Durchschnitt, Fig. 6 (a. S. 18), deutlicher erkennen

kann. Der Conductor trägt die beiden Holzringe *d*, zwischen denen sich die Scheibe bewegt. Diese Ringe sind von polirtem Holze und jeder ist

Fig. 5.



auf der der Glasscheibe zugekehrten Seite mit einem Stanniolstreifchen versehen, aus welchem die Saugspitzen hervorragen, und welches bis zum Conductor *a* fortgesetzt, die aufgesaugte Elektricität diesem zuführt.

Auf die Kugel *b* wird noch ein Holzstab von ungefähr 1 Zoll Durchmesser und etwas über 1 Fuß Höhe aufgesteckt, der einen Holzring von nahe 2 Fuß Durchmesser trägt, dessen Querschnitt dem des Stabes gleich ist. Stab und Ring sind mit Stanniol überzogen.

Der Funkenzieher *N* ist durch eine Metallschnur *m*, welche in Seidenband eingenäht ist, mit dem Conductor des Reibzeuges in Verbindung gesetzt.

Um negative Elektricität zu erhalten, hat man nur die Schnur *m* aus dem Conductor des Reibzeugs auszuhängen, und den Conductor *a* mit dem Boden in leitende Verbindung zu setzen.

Das Gestell, welches das Reibzeug trägt, ist in Fig. 7 für sich allein dargestellt. Auf einem Glasfuß steht das gabelförmige Holzstück *n*,

in welchem auf jeder Seite eine Vertiefung zur Aufnahme des Reibzeugs eingeschnitten ist; in der Mitte derselben befindet sich ein Stanniolstreifen, welcher die Elektricität von der Feder des Reibzeugs aufnimmt und zum negativen Conductor *o* führt.

Fig. 6.

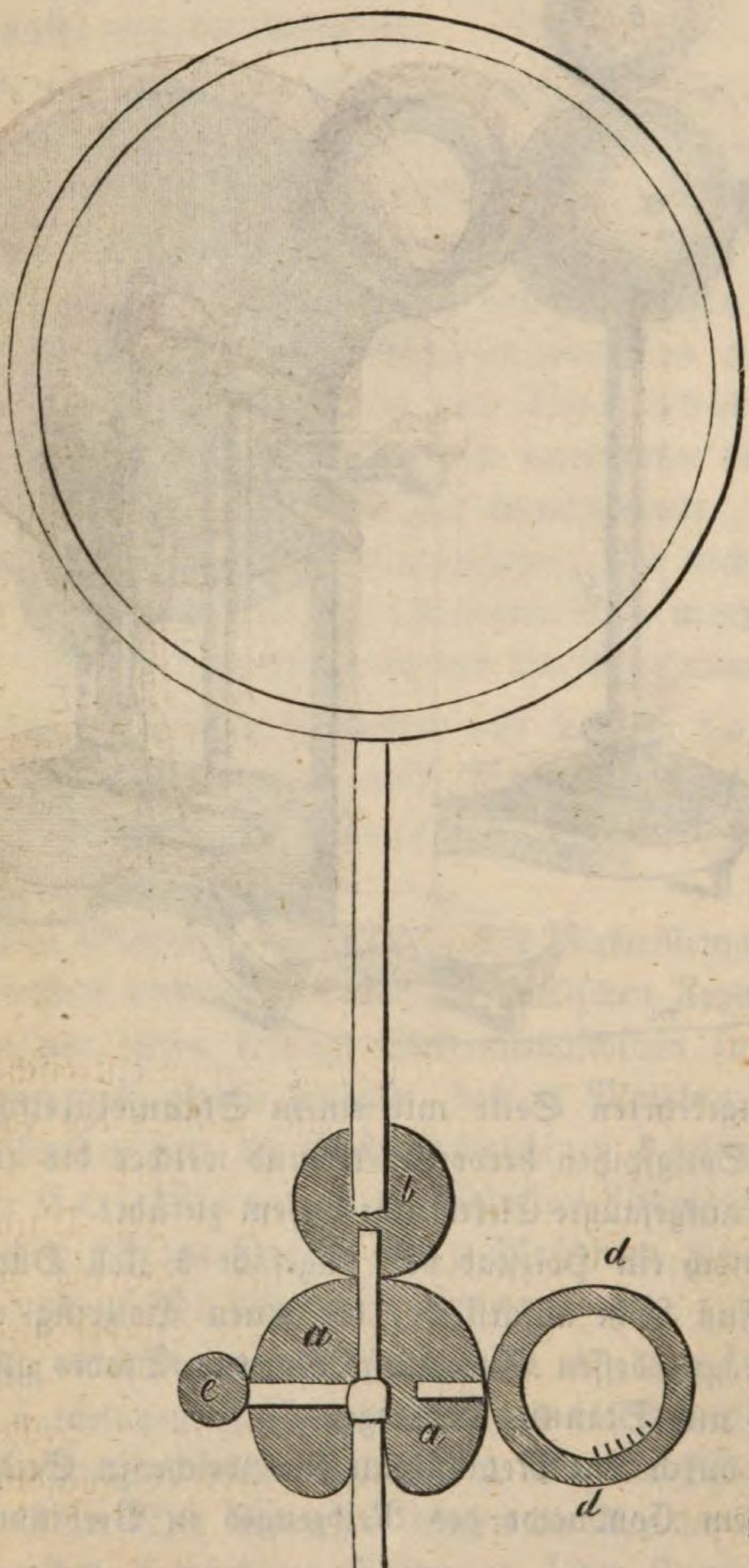


Fig. 7.

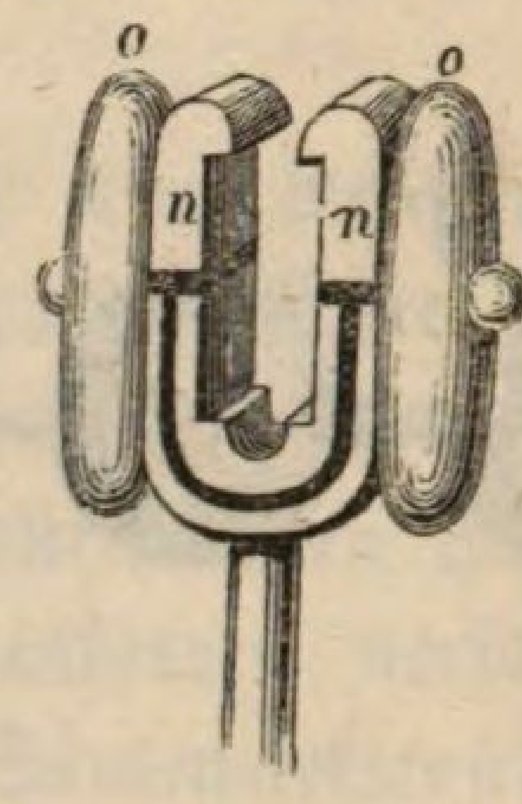
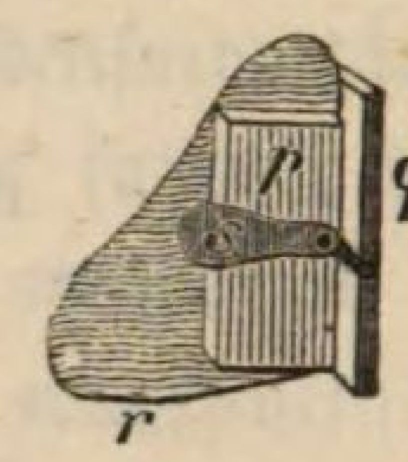


Fig. 8.



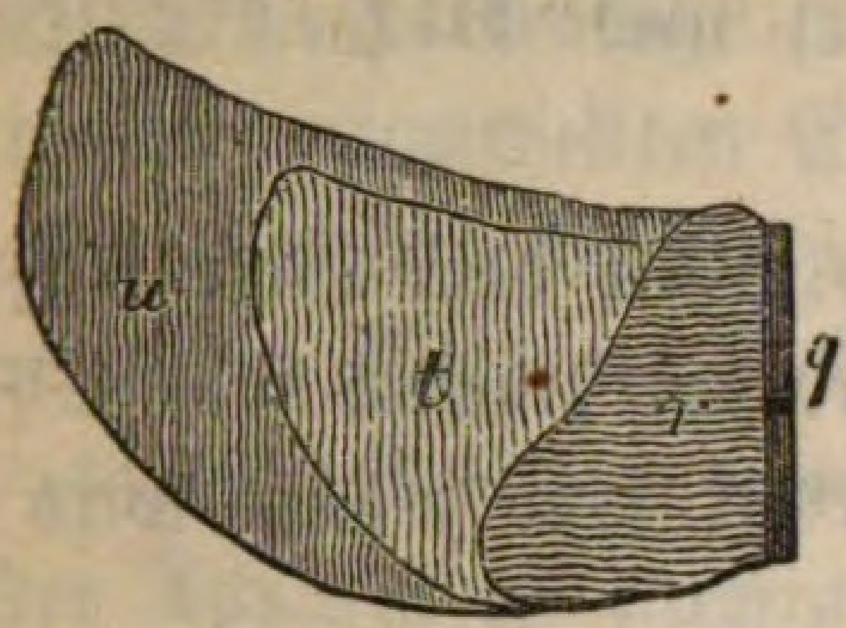
Das Reibzeug selbst ist in Fig. 8 dargestellt, und zwar von der Rückseite mit Hinweglassung des daran befestigten Wachstaffents; *p* ist ein Schieber von Holz, welcher in dem Reibzeuggestell eingeschoben wird; *q* ist eine Leiste, welche das Durchschlüpfen des Reibzeugs verhindert. Auf dem Schieber *p* ist das amalgamirte Leder *r* befestigt. Beim Einschieben des Reibzeugs wird die Metallfeder *s*, welche mit ihrem schmalen Ende auf *p* aufgeschraubt ist, niedergedrückt. Wenn einmal das Reibzeug eingeschoben ist, so drückt diese Feder mit genügender Kraft und Elasticität das Reibzeug gegen die Scheibe.

In der Mitte der Leiste *q* sieht man ein Stanniolstreifchen, welches von der amalgamirten Seite des Leders zur Feder *s* führt, von welcher

dann die Electricität auf die erwähnte Weise zu den Conductoren *o* geleitet wird.

Fig. 9 stellt das Reibzeug von der amalgamirten Seite des Leders angesehen dar, und zwar mit dem Wachstaffent. *t* ist eine einfache, *u* eine doppelte Lage von Wachstaffent.

Fig. 9.



Bei ausgezeichneter Wirksamkeit sind die Winter'schen Maschinen, wie man sieht, sehr einfach construirt.

Folgendes sind die Preise der Winter'schen Maschinen:

Scheibendimension	40″	Funkenlänge	22—24″	Preis	300	fl.	Conv.	M.
»	36″	»	20—22″	»	200	»	»	»
»	30″	»	16—18″	»	160	»	»	»
»	24″	»	12—14″	»	80	»	»	»
»	18″	»	9—10″	»	60	»	»	»
»	15″	»	7— 9″	»	50	»	»	»
»	12″	»	5— 7″	»	40	»	»	»
»	10″	»	4— 5″	»	30	»	»	»
»	8″	»	3— 4″	»	20	»	»	»
»	6″	»	2— 3″	»	12	»	»	»

N. B. mit dazu gehörigem Funkenzieher.

Maschinen nach derselben Construction, gleich wirksam, aber weniger elegant ausgestattet:

Scheibendimension	18″	Preis	50	fl.	Conv.	M.
»	15″	»	40	»	»	»
»	12″	»	30	»	»	»
»	10″	»	20	»	»	»
»	8″	»	16	»	»	»
»	6″	»	10	»	»	»

Herr Winter hat es in der Anfertigung electrischer Apparate wirklich zu einer großen Virtuosität gebracht. Vielen elektrischen Versuchen und Spielereien hat er eine neue zweckmäßige Form zu geben gewußt.

Er hat Leidner Flaschen von außergewöhnlicher Schlagweite construirt, welche an einer anderen Stelle näher besprochen werden sollen.

Daß es ihm gelungen ist, auf eine Entfernung von 15600 Fuß mit Reibungselectricität zu telegraphiren und Pulver anzuzünden, beweist, wie sicher er mit seinen Apparaten experimentiren kann.

Ich habe mich in Wien selbst von der großen Wirksamkeit der Maschinen überzeugt, welche Herr Winter construirt. Mit der größten Bereitwilligkeit hat er mich auf meine Bitte, durch seine Mittheilungen in

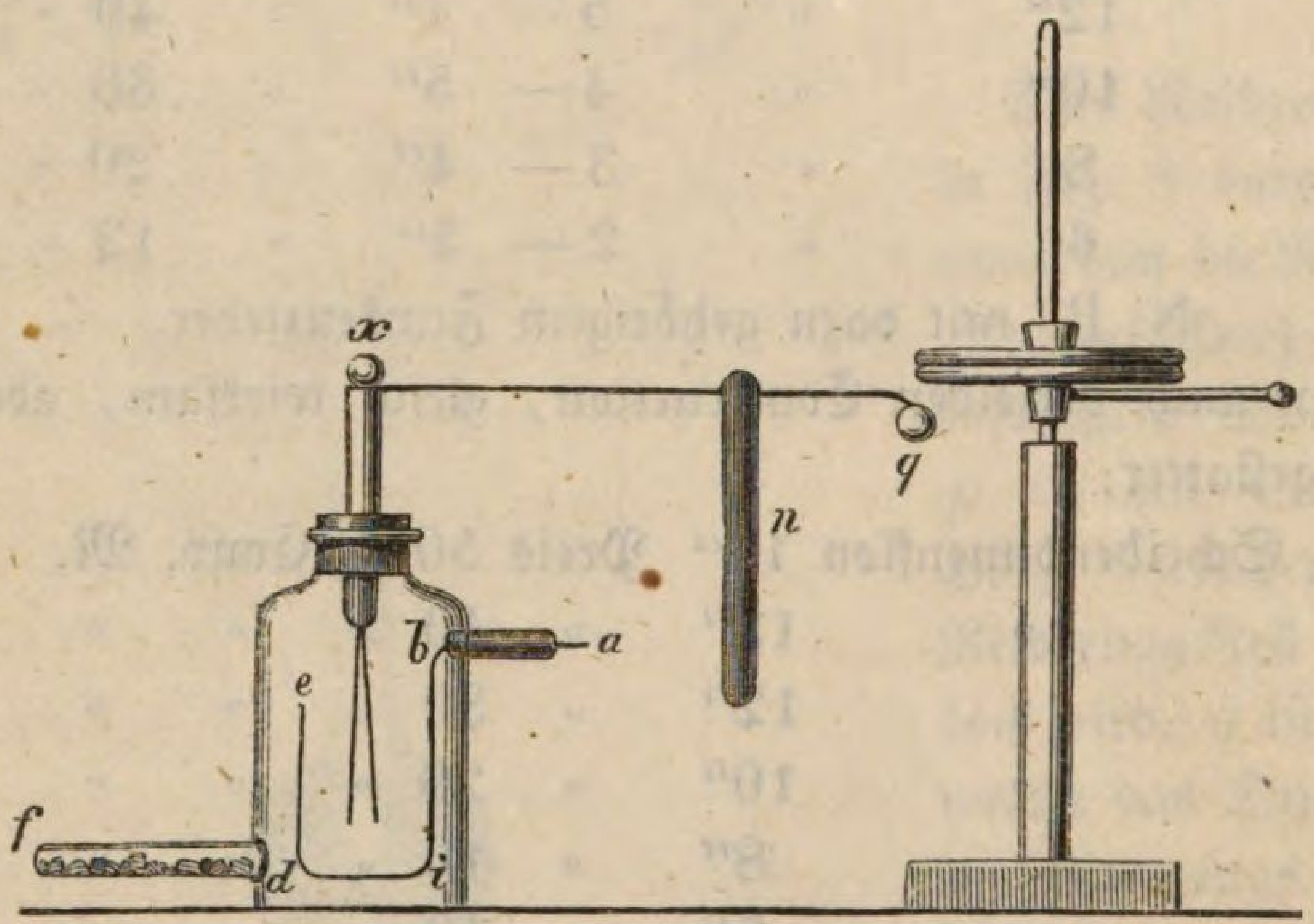
den Stand gesetzt, obige Beschreibung seiner Elektrisirmaschinen publiciren zu können.

Grüel in Berlin verfertigt Cylindermaschinen von eigenthümlicher Construction, die sehr wirksam seyn sollen, doch ist mir aus eigener Anschauung über ihre Wirksamkeit nichts bekannt, und Grüel's Preisverzeichniß giebt darüber keine Auskunft.

12 **Verbesserungen am Goldblattelektroscop.** An dem Goldblattelektroscop hat Andriessen eine Einrichtung angebracht, durch welche seine Empfindlichkeit und somit auch seine Brauchbarkeit sehr erhöht wird (P. A. LXII. 493).

Das Glasgefäß, in welchem die Goldblättchen hängen, ist ungefähr in der Höhe des Aufhängepunktes der Pendel durchbohrt und durch diese Oeffnung ein glatter Messingdraht *a b i d e* von $\frac{1}{2}$ bis $\frac{3}{4}$ Linien Durchmesser eingesteckt und gehörig isolirt befestigt, der so gebogen ist, wie man es Fig. 10 sieht. Die Ebene, welche der Draht bildet, muß mit der

Fig. 10.



Bewegungsebene der Pendel zusammenfallen, so also, daß wenn die Pendel divergiren, das eine gegen *bi*, das andere gegen *ed* sich bewegt.

Die horizontale Entfernung von *bi* zu *de* ist am passendsten $1\frac{1}{4}$ Zoll, die Länge der Goldblättchen 2″, ihre Breite möglichst gering, etwa 1‴. Die Entfernung ihres unteren Endes vom horizontalen Drahtstück *di* $\frac{1}{2}$ Zoll.

Theilt man dem Drahte Elektricität mit, z. B. die negative Elektricität eines auf Tuch geriebenen glatten Korkscheibchens, so divergiren die Blättchen, weil der Draht vertheilend wirkt und die $+ E$ in die Pendel herabzieht, während die abgestoßene $- E$ in die Kugel x zurückgetrieben

wird. Die Divergenz der Blättchen nimmt noch etwas zu, wenn man den Knopf x ableitend berührt.

So ist nun der Apparat vorgerichtet, um die geringste Elektricitätsmenge noch anzeigen zu können; wird dem Knopfe x nur eine sehr geringe Elektricitätsmenge mitgetheilt, so werden die Blättchen je nach der Natur der mitgetheilten Elektricität entweder noch weiter divergiren oder zusammenfallen; sie fallen zusammen, wenn man dem isolirten pendeltragenden System $-E$ mittheilt, sie gehen weiter auseinander, wenn ihm $+E$ mitgetheilt wird.

Der Apparat ist empfindlich genug, um für den Volta'schen Fundamentalversuch ohne Condensator zu dienen.

Schraubt man statt der Kugel x eine Zinkplatte auf, deren obere Fläche mit Bimsteinpulver frisch abgerieben worden ist, setzt man auf diese eine ebenfalls gehörig präparirte Kupferplatte, so werden beim Aufheben der Kupferplatte die Pendel noch weiter auseinander gehen.

War umgekehrt die Kupferplatte aufgeschraubt, so werden die Pendel beim Aufheben der Zinkplatte zusammenfallen.

Andriessen macht die Bemerkung, daß ihm bei Anwendung eines Glockenelektroscops von gewöhnlichen Dimensionen, auch bei Anwendung des Inductionsdrahtes, die Versuche nie so gut gelangen, wie mit engen Gläsern; er nimmt deshalb zu seinen Versuchen gewöhnliche Gläser mit eingeriebenem Stöpsel, 2 bis $2\frac{1}{2}$ Zoll weit und etwa 4'' Zoll hoch. Eine Erklärung dieser Erfahrung weiß er nicht zu geben.

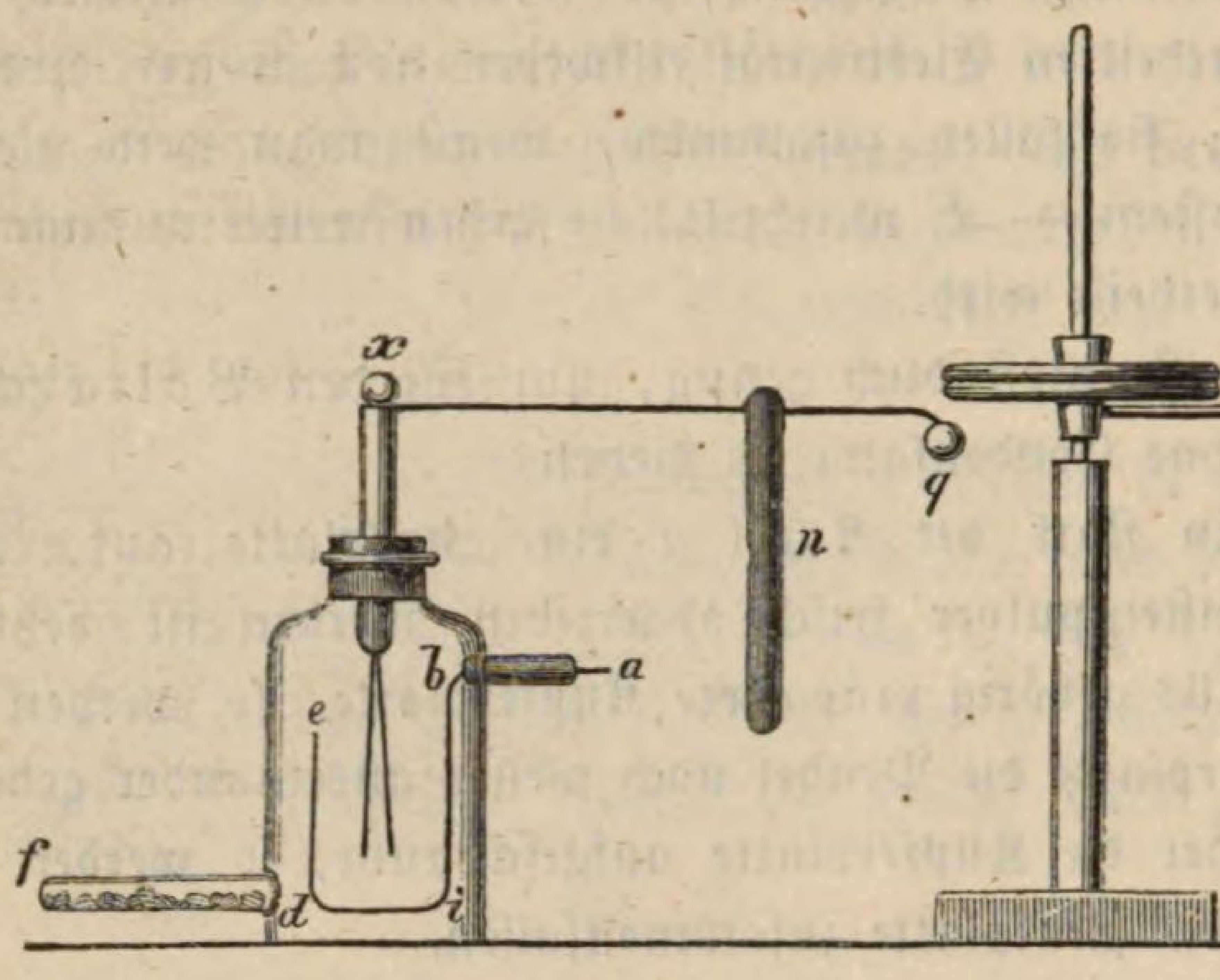
Von großer Wichtigkeit für das Gelingen der Versuche ist es, daß die Luft im Innern des Glasgefäßes vollkommen trocken sey; um dies zu erreichen, hat Andriessen an einer passenden Stelle des Gefäßes ein zweites Loch eingebohrt, und an dieses ein mit Chlorcalcium gefülltes Glasröhrchen f angekittet. — Wenn aber sonst überall die Oeffnungen wohl verkittet sind, so mögte es wohl genügen, wenn nur ein Stückchen Chlorcalcium im Gefäß selbst liegt.

Die Combination dieses Apparats mit dem Condensator führte zu eigenthümlichen Schwierigkeiten; ist nämlich statt der Kugel x eine Collectorplatte aufgeschraubt und die Condensatorplatte aufgesetzt, so wird bei ableitender Berührung der Condensatorplatte die Elektricität der Goldblättchen großentheils in die Collectorplatte heraufgezogen, so daß also die Pendel wieder weiter auseinander gehen, sobald die Condensatorplatte aufgehoben wird, wenn man auch der Collectorplatte nicht die mindeste Elektricität mitgetheilt hat.

Dieser Umstand macht die Anwendung des Condensators in der gewöhnlichen Weise durchaus unsicher. Andriessen vermied diese Schwierigkeit in folgender Weise.

Der Condensator ist nämlich nicht auf, sondern neben dem Elektroscop angebracht. Eine auf einem Brett befestigte innen und außen mit Schellack bekleidete Glasröhre trägt die Collectorplatte, wie man es Fig. 11 sieht.

Fig. 11.



Ist auf der Collectorplatte die Elektricität verdichtet, welche man nachweisen will, so wird die Condensatorplatte aufgehoben und dann die Collectorplatte, deren Elektricität jetzt frei ist, mittelst des Drahtes $x\,q$ mit dem Elektroscop in Verbindung gebracht.

Dieser Draht ist ein weicher Kupferdraht, welcher unter der Kugel x um den Draht gewunden ist, der die Pendel trägt; n ist ein Schellackstäbchen, welches an dem Drahte befestigt ist, mittelst dessen man das freie Ende q des Drahtes heben kann, um es mit der Collectorplatte in Berührung zu bringen.

13 **Verbesserungen an der Coulomb'schen Drehwage.** Nach Coulomb ist die elektrische Torsionswage nur von Wenigen benutzt worden, und zwar mit geringem Erfolge; es entstanden Klagen über die Unzuverlässigkeit des Instruments und über die schwierige Handhabung desselben; es verbreitete sich die Ansicht, daß es eines ganz ungewöhnlich geschickten Experimentators bedürfe, um brauchbare Resultate mit der Drehwage zu erhalten.

Rieß bekämpft diese Vorurtheile (P. A. LXXI. 359), er hat viel mit der Drehwage experimentirt und versichert, daß, wenn man nur auf die Construction des Instruments die nöthige Sorgfalt verwendet habe, daß alsdann seine Angaben nicht allein zuverlässig seyen, sondern daß auch die Anwendung desselben keineswegs eine besonders ausgezeichnete Beobachtungsgabe erfordere. Das Instrument, welches Rieß in dem citirten Aufsatze beschreibt, hat die Dimensionen der kleinsten Wage, die Cou-

lomb zu seinen Messungen gebraucht hat. Der untere Glascylinder hat 1 Fuß Durchmesser und 1 Fuß Höhe, die Röhre, in welcher der Metallfaden herabhängt, ist 15 Zoll lang. Die Rieß'sche Drehwage ist vollkommen nach dem Princip der Coulomb'schen construirt, nur sind noch einige Vorrichtungen angebracht, welche eine größere Genauigkeit der Beobachtung möglich machen; so wird die Stellung des beweglichen Armes mit dem Mikroscop beobachtet. — Um noch die feinsten Veränderungen in der Drehung des Metallfadens bewerkstelligen zu können, ist am Kopf des Apparates eine Mikrometerschraube angebracht, die sich mittelst eines herabgehenden Stabes drehen läßt, während man durch das Mikroscop die Stellung des beweglichen Balkens beobachtet. Auf diese Weise ist die genaueste Einstellung möglich. (Es wäre für den Mechaniker, der etwa ein solches Instrument machen soll, zu wünschen gewesen, daß von dem Kopf des Apparates auch ein Durchschnitt mitgetheilt worden wäre.)

Ist nun bei dieser Einrichtung möglichste Sorgfalt auf die Construction aller einzelnen Theile, namentlich aber auch darauf, daß der bewegliche Balken sowohl wie die Träger der in den Apparat einzubringenden Prüfungsscheibchen oder Kugeln möglichst vollkommen isoliren, so läßt sich eine große Genauigkeit der Messungen wohl erwarten; da jedoch die Drehwage ein Apparat ist, der sich zu Vorlesungsversuchen durchaus nicht eignet, ihr Princip aber hinlänglich bekannt ist, hat die detaillirtere Beschreibung des Instrumentes nicht für einen größeren Kreis, sondern nur für diejenigen ein Interesse, die sich selbst mit Messungen elektrischer Dichtigkeiten praktisch beschäftigen. Ich halte deshalb ein weiteres Eingehen in diesen Gegenstand nicht für nöthig.

In Beziehung auf Beobachtungsmethode und Berechnung der Resultate ist noch einiges aus der Abhandlung von Rieß anzuführen.

Um das Verhältniß zweier elektrischer Dichtigkeiten zu a und b zu bestimmen, die gleichzeitig an zwei Stellen eines Leiters oder auf zwei Leitern vorhanden sind, macht Coulomb eine ganze Reihe von Messungen (gewöhnlich 5), abwechselnd für die eine und für die andere Stelle und zwar in möglichst gleichen Zwischenräumen. Auf diese Weise erhält er für die erste Stelle drei Dichtigkeiten (durch Torsionswinkel bei gleicher Elongation des Wagbalkens gemessen) a, a' und a''; und 2 Werthe für die Dichtigkeit an der andern Stelle, nämlich b und b'. Die Messung von b liegt der Zeit nach in der Mitte zwischen a und a'; ferner liegt a' der Zeit nach in der Mitte zwischen b und b', es läßt sich also das Mittel zwischen a und a' als nahezu gleichzeitig vergleichen mit b; das Mittel zwischen b und b' mit a' u. s. w. Das gesuchte Verhältniß der beiden Dichtigkeiten ist also ausgedrückt durch $\frac{\frac{1}{2}(a + a')}{b}$ oder durch $\frac{a'}{\frac{1}{2}(b + b')}$

oder durch $\frac{\frac{1}{2}(a' + a'')}{b'}$. Das Mittel aus diesen drei Werthen wird dann für das wahre Verhältniß $\frac{a}{b}$ der beiden Dichtigkeiten genommen. Diese Methode erfordert große Geschicklichkeit, denn es ist nicht leicht, immer in gleichen Zwischenräumen abwechselnd eine Messung der elektrischen Dichtigkeit der einen und dann wieder der andern Stelle zu machen; ferner kann sie keine richtigen Resultate geben, wenn die beiden zu untersuchenden Stellen auf zwei verschiedenen Körpern liegen, von denen einer seine Elektricität rascher verliert als der andere, denn alsdann ändert sich das Verhältniß der beiden Dichtigkeiten von einem Moment zum andern, die drei Quotienten sind demnach durchaus nicht drei Werthe derselben Größe, welche nur in Folge der unvermeidlichen Beobachtungsfehler verschieden sind, sondern drei wesentlich verschiedene Größen, das Mittel aus den Werthen der drei Quotienten giebt uns also durchaus nicht das wahre Verhältniß der beiden elektrischen Dichtigkeiten in einem bestimmten Moment.

Endlich ist diese Methode in solchen Fällen gar nicht anwendbar, in welchen man dieselbe Dichtigkeit nicht zweimal bestimmen kann, wo das Auftreten der Dichtigkeit b es erfordert, daß die Dichtigkeit a nicht mehr vorhanden sey und ein Zurückgehen auf a nicht mehr möglich ist.

Rieß bringt nun folgende Beobachtungsmethode mit Erfolg in Anwendung. Mit zwei Prüfungskugeln, welche vollkommen gleich sind, und deren Stiele gleich gut isoliren, werden die beiden elektrischen Stellen gleichzeitig oder doch so rasch nach einander berührt, daß man die Berührung als gleichzeitig betrachten kann. Die eine Prüfungskugel wird nun in eine weite Glasglocke, die andere in die Torsionswage gebracht. — Nachdem die Messung der Torsion für die erste eingebrachte Prüfungskugel vollendet ist, wird nun diese entfernt und die zweite, einstweilen in der Glasglocke aufbewahrte Prüfungskugel in die Drehwage gebracht, die entsprechende Torsion (bei gleicher Elongation) gemessen. Die Momente der beiden Einstellungen werden an einer Sekundenuhr bemerkt. Nun wird die Torsion um einige Grade vermindert, wodurch natürlich die Elongation etwas wächst, und beobachtet, wie lange es dauert, bis der Wagbalken wieder an seiner frühern Stelle einsteht.

Ein Beispiel mag diese Beobachtungsweise erläutern. Man habe mit den beiden Prüfungskugeln I und II die Stellen berührt, deren elektrische Dichtigkeit man vergleichen will.

I in die Torsionswage gebracht, erfordert eine Torsion von $55{,}5^0$, damit der Wagbalken eine bestimmte Stellung einnimmt, also um eine bestimmte Gradzahl abgelenkt ist.

Nun wird II in die Drehwage gebracht. Damit der Wagbalken genau

dieselbe Ablenkung erhalte, also genau wieder an derselben Stelle stehe, wie vorher, muß man nun dem Faden eine Torsion von 293,5° geben.

Zwischen der ersten und zweiten Einstellung ist eine Zeit von 3,1 Minuten verflossen.

Nun wird die Torsion um 20°, also auf 273,5° vermindert, und es dauert, von der zweiten Einstellung an gerechnet, 3,2 Minuten, bis der Wagbalken wieder an seiner alten Stelle ankommt.

Gehn wir nun zur Berechnung dieser Resultate über. — In 3,2 Minuten hat die Prüfungskugel Nro. II eine Elektricitätsmenge verloren, welche durch eine Torsion von 20° gemessen wird; wäre nun der elektrische Verlust nur der Zeit proportional, so würde der Elektricitätsverlust der Kugel II zwischen der ersten und zweiten Einstellung $\frac{3,1}{3,2} . 20 = 19,4°$ betragen, der elektrische Verlust ist aber nicht allein der Zeit, sondern auch der elektrischen Dichtigkeit proportional, die in den beiden Zeitabschnitten nicht gleich ist. Ohne merklichen Fehler kann man annehmen, daß sich die elektrische Dichtigkeit auf der Kugel II in dem ersten Zeitabschnitte zu der im zweiten verhält wie 293,5 zu 273,5; demnach wäre also der elektrische Verlust der Kugel II in dem ersten Zeitabschnitte (d. h. zwischen der ersten und zweiten Beobachtung) $19,4 . \frac{293,5}{273,5} = 20,8°$. In dem Augenblicke, in welchem die elektrische Ladung der Prüfungskugel I in der Torsionswage gemessen wurde, war also die elektrische Ladung der Prüfungskugel II gleich $293,5 + 20,8 = 314,3°$. Das gesuchte Verhältniß der beiden Elektricitätsmengen ist also $\frac{55,5}{314,3} = 0,179$.

Bezeichnen wir mit a die erste gemessene Torsion, mit b die zweite, mit c die Anzahl Grade, um welche man nach der zweiten Messung die Torsion vermindert hat; ferner mit t und t' die beiden Zeitintervallen, so ist die Dichtigkeit der Elektricität auf der Kugel II in dem Moment, in welchem die Torsion a gemessen wurde, gleich

$$b + c . \frac{t . b}{t' (b - c)} \quad .... (1)$$

Es sey z. B. $a = 67°$

$b = 369°$

$c = 20°$

$t = 3,7'$

$t' = 2,5'$

so ist also in dem Moment, in welchem die Dichtigkeit a gemessen wird, die elektrische Dichtigkeit auf der andern Prüfungskugel

$$369 + 20 \cdot \frac{3{,}7}{2{,}5} \cdot \frac{369}{349} = 369 + 31{,}3^0 = 400{,}3$$

und das gesuchte Verhältniß der beiden Dichtigkeiten

$$\frac{67}{400{,}3} = 0{,}167.$$

Rieß berechnet die Resultate dieser Beobachtungsmethode »mit gepaarten Prüfungskörpern« nicht nach der Formel (1), welche allerdings nur eine Näherungsformel ist, sondern nach einer andern Näherungsformel, deren Ableitung aber keineswegs elementar und übersichtlich genannt werden kann. Die Resultate der Rechnung nach Formel (1) stimmen jedoch so sehr mit den Rieß'schen Rechnungsresultaten überein, daß die Anwendung der Formel (1) wohl keinen Anstand haben wird.

Für das erste der obigen beiden Beispiele z. B. stimmen die Rechnungsresultate nach beiden Formeln vollkommen überein, bei dem zweiten Beispiele ergiebt sich nach Rieß der Werth 400,8^0, wo wir 400,3^0 gefunden hatten, was auf den gesuchten Quotienten gar keinen Einfluß hat.

14 **Elektroscope, in welchen das Princip der Drehwage in Anwendung gebracht ist.** Im LIIIten Bande von Poggendorf's Annalen findet sich die Beschreibung von zwei Eletkrometern oder vielmehr Elektroscopen, welche man gewissermaßen als kleine Drehwagen betrachten kann; das erstere von Dellmann (Seite 606), das letztere von Oersted (Seite 612).

Fig. 12.

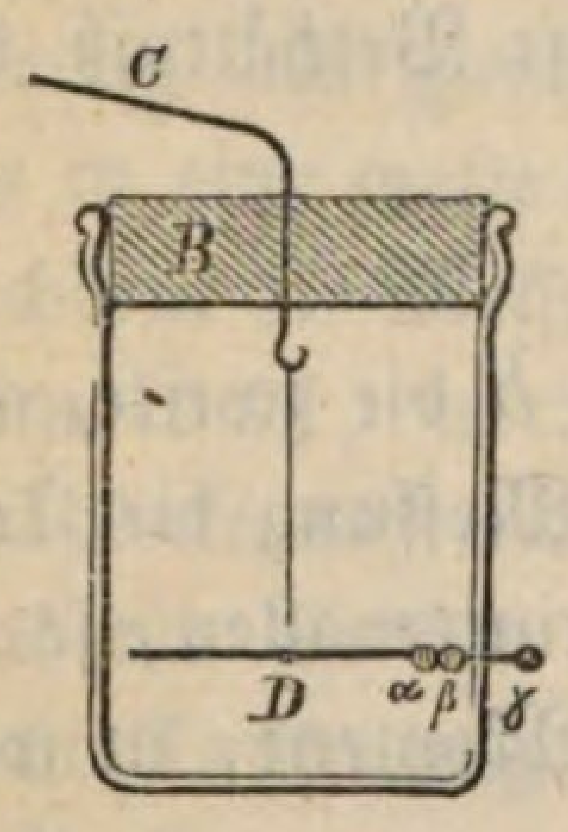


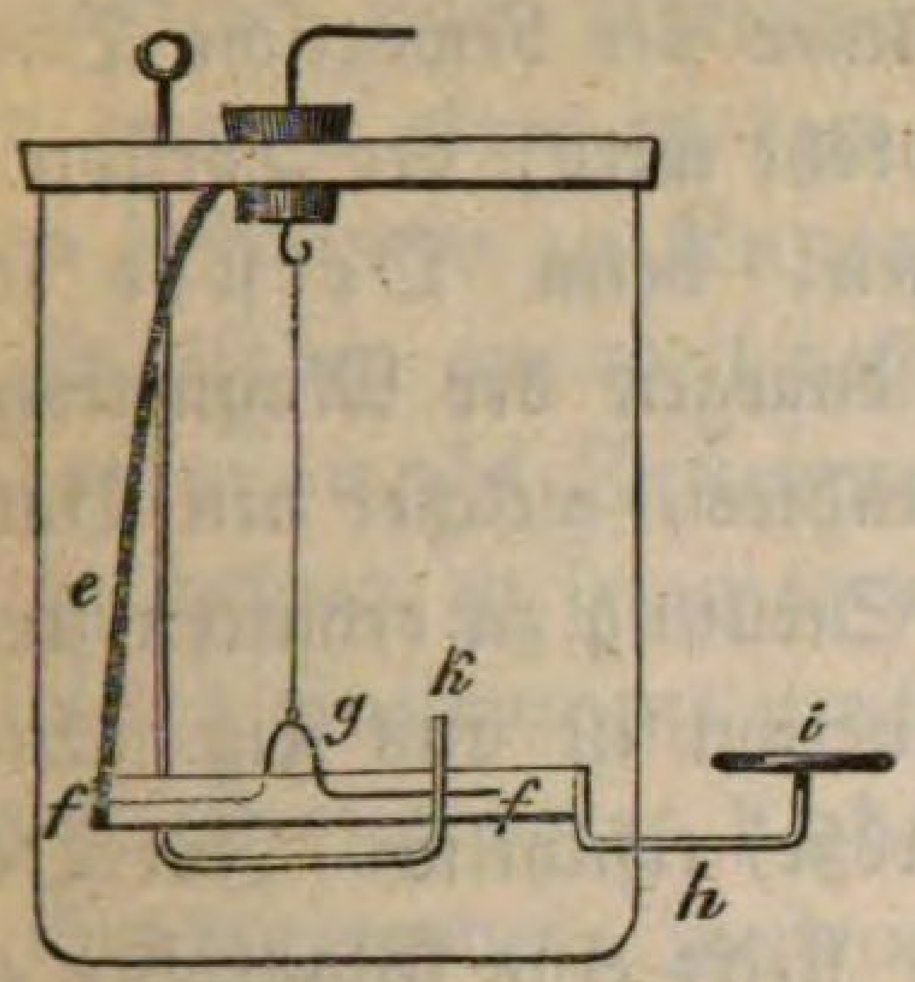
Fig. 12 stellt das Dellmann'sche Instrument dar. Die Oeffnung eines weißen Einmachglases von 8 bis 10 Zoll Höhe ist oben mit einem Korkstück *B* verschlossen. Durch dieses Korkstück ist ein ziemlich steifer Draht *C* gesteckt, welcher unten in ein Häkchen endet, in dem ein Coconfaden hängt. Der Coconfaden trägt ein Schellackstäbchen *D*, an dessen einem Ende ein kleines Hollundermarkkügelchen α befestigt ist (durch Drücken mit reinen Fingern kann man ihm leicht alle Ecken nehmen).

Bei α ist das Glas durchbohrt und in das Loch eine Stecknadel $\beta\gamma$ mit Schellack befestigt, und zwar mit dem Knopfe γ nach außen; inwendig steckt auf der Spitze der Nadel das Hollundermarkkügelchen β, so daß aber die Spitze nicht aus dem Kügelchen hervorragt. Man schiebt nun so lange an dem Drahte *C* auf und ab, bis α und β sich in gleicher Höhe befinden; darauf dreht man dann den Draht *C* um seine Axe ein oder ein Paar Mal um, so daß das Kügelchen α sich vermöge der Elasticität des Conconfadens dicht an das Kügelchen β anlegt.

Dellmann hat später die Construction seines Instrumentes noch ver-

ändert und es dadurch noch weit empfindlicher gemacht. Fig. 13 stellt das

Fig. 13.



Dellmann'sche Elektroscop in seiner neueren Gestalt dar (P. A. LVIII. 49). Der drehbare Hebel g besteht aus einem leichten Metalldrahte, welcher in der Mitte so gebogen ist, daß sich die eine Hälfte des Wagbalkens auf die rechte, die andere Hälfte auf der linken Seite des Metallstreifchens f anlegen kann. Dieses Streifchen f, durch die Mitte des Apparates ausgespannt, ist einerseits an dem Zuleitungsdrahte h, andrerseits an dem Drahte e befestigt.

Theilt man den Zuleitungsdraht (auf den man eine Platte, etwa eine Condensatorplatte, aufschrauben kann) Elektricität mit, so wird diese zum Theil auf den durch die Torsion des Fadens an dem Streifchen f angelegten Wagbalken g übergehn und dieser also abgestoßen werden. —

Der eine vertikale Arm des Drahtes k, dessen horizontales Stück einen Winkel von nahezu 90° mit der Richtung des Streifchens f macht, befindet sich auf der rechten, der andere vertikale Arm auf der linken Seite des beweglichen Hebels. Dellmann nennt diesen Draht, dem man von oben her Elektricität mittheilen kann, und dessen Function dieselbe ist, wie die des Drahtes im Elektrometer von Andriessen, den Querdraht. Wird dem Querdraht Elektricität mitgetheilt, so dreht sich alsbald der bewegliche Hebel g und bleibt in einer neuen Gleichgewichtslage stehen. Er bewegt sich aber nach der einen oder nach der andern Seite, je nachdem man den Zuleitungsdraht h Elektricität der einen oder andern Art mittheilt. Es ist begreiflich, daß der Apparat in dieser Gestalt außerordentlich empfindlich seyn muß; jedoch ist es sehr lästig, daß der am Coconfaden hängende Wagbalken durch das geringste Anstoßen schon in Schwankungen geräth.

Der angeführte Aufsatz in Poggendorff's Annalen, in welchem Dellmann die neuere Form seines Elektroscops bespricht, ist etwas confus geschrieben. Eine eigentliche Beschreibung des Apparates, eine Angabe, wie er anzuwenden ist, findet sich nicht; es wird von den zweckmäßigsten Dimensionen des Streifchens, von der besten Stellung des Querdrahts gesprochen, ohne daß Querdraht und Streifchen vorher irgendwie eingeführt worden wären. Offenbar setzt Dellmann hier schon vieles als bekannt voraus, was es wenigstens für die Mehrzahl der Leser nicht ist. —

Die Art und Weise, wie das Streifchen f hier befestigt wird, ist offenbar etwas ungeschickt. Romershausen hat dieß sehr zweckmäßig abgeändert. Der Wagebalken aus unächtem Goldlahn bleibt gerade, dagegen ist der Metallstreifen f in der Mitte mit einem Bogen versehen, wie man

Fig. 14.

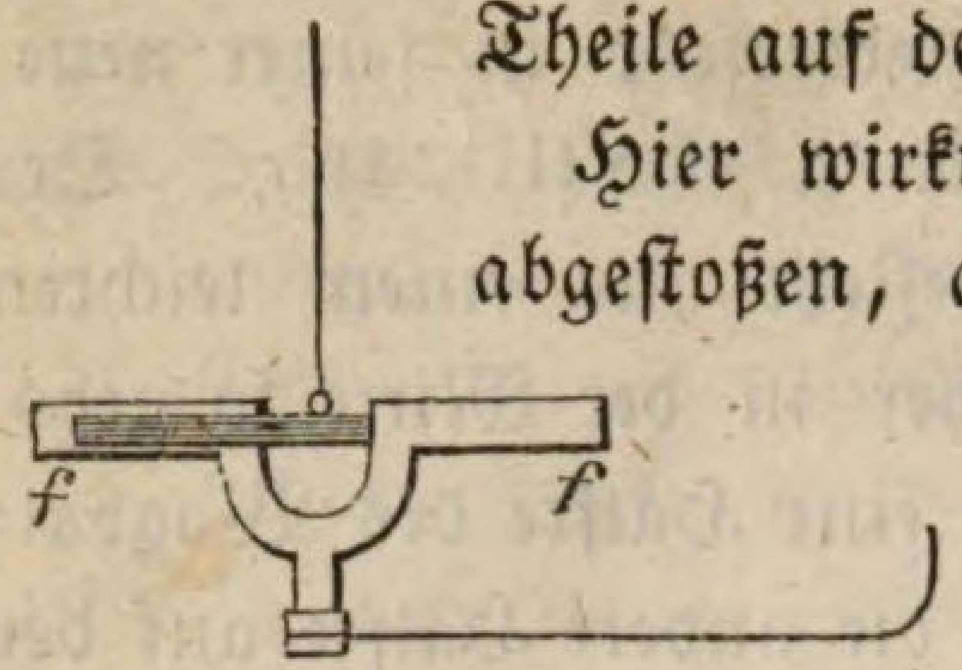
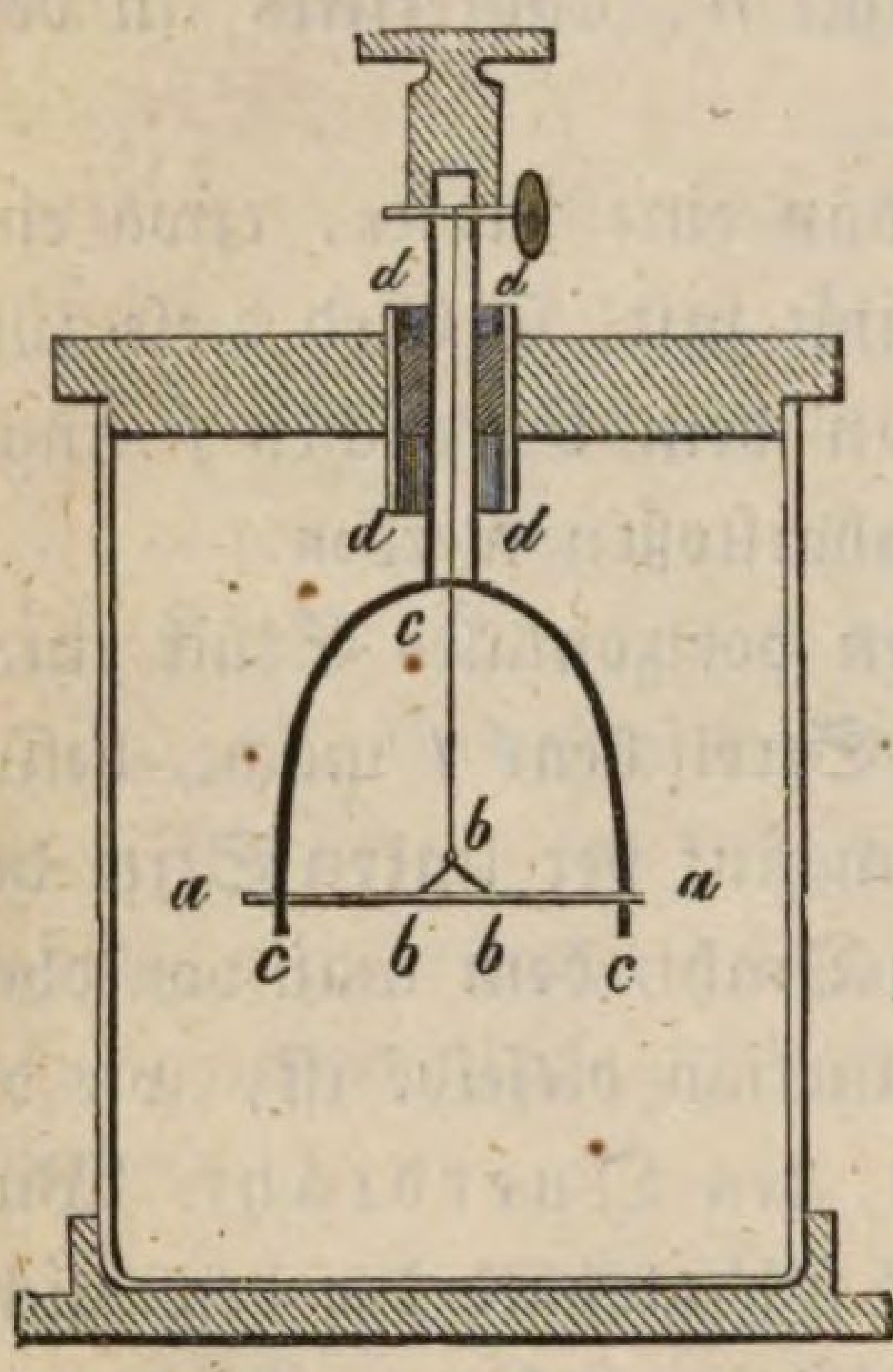


Fig. 14 sieht. Der Metallstreifen ist mit seinem mittleren Theile auf dem Zuleitungsdrahte befestigt.

Hier wirkt die Kraft, mit welcher der bewegliche Balken abgestoßen, also um seine Axe gedreht wird, der Torsion des Coconfadens entgegen; beim Oersted'schen Elektrometer ist es dagegen der Magnetismus eines kleinen Eisendrahtes, welcher den Balken in einer bestimmten Stellung zu erhalten strebt. Das Wesentliche der Oersted'schen Construction ist aus Fig. 15 (1/2 der natürlichen Größe) ersichtlich. Im Deckel eines Glasgefäßes steckt eine Glasröhre *d d*, in welcher durch Schellack gehörig isolirt eine Metallröhre befestigt ist, die unten in zwei gebogene Arme *cc* ausläuft. In der Mitte dieses Röhrchens hängt der Coconfaden herab, welcher den beweglichen Stab *aa* trägt, der aus einem dünnen Messingdrahte besteht. *bb* ist ein Bügel von sehr dünnem Eisendraht, der einen sehr schwachen Magnetismus haben muß, durch welchen der Balken so gegen die Messingarme *cc* angelegt wird, daß das eine Ende von *cc* die linke, das andere Ende die rechte Seite des Stäbchens *aa* berührt. Indem der Metallbogen *cc* von oben her Elektricität empfängt, geht diese zugleich auf den Wagbalken *aa* über, und erzeugt eine Drehung desselben. Wenn die magnetische Richtkraft des Eisenbügels sehr gering ist, so zeigt das Elektrometer sehr große Empfindlichkeit. Um schwache elektrische Wirkungen zu entdecken, theilt man dem Instrumente zuerst etwas Elektricität mit, durch welche der Balken um einige Grade gedreht wird. Ein Körper, welcher dieselbe Art von Elektricität besitzt, bringt dann, wenn er genähert wird, eine bedeutende Vergrößerung der Abweichung hervor. Die Elektricität, welche isolirte Zink- und Kupferplatten nach der Berührung und Aufhebung zeigen, wird auf diese Weise ohne Hülfe des Condensators sehr wahrnehmbar. — Auch mit dem Dellmann'schen Instrumente läßt sich der Volta'sche Fundamentalversuch ohne Condensator anstellen.

Fig. 15.



Oersted hat an seinem Instrumente noch eine Theilung angebracht, um den Ablenkungswinkel zu messen, ein Mikroscop, um die Stellung des Balkens besser zu beobachten u. s. w. Ich habe dies weggelassen, weil es hier nur darauf ankommt, das Princip des Instruments verständlich zu machen. Oersted selbst hat das Instrument nur als Elektroscop angewendet.

Kohlrausch hat das Dellmann'sche Elektroscop in ein Elektrometer verwandelt. (P. A. LXXII. 353). Er brachte unter dem drehbaren Hebel einen Theilkreis an, um die Ablenkungswinkel ablesen und einen zweiten oben an dem Aufhängring des Fadens, um die Torsion desselben bestimmen zu können. Statt des Coconfadens wandte er einen feinen Glasfaden an, weil dessen Torsionskraft zuverlässiger ist.

Dellmann's Instrument hatte den großen Vorzug, mit wenig Mitteln herstellbar zu seyn, so daß jeder, der nur einige Geschicklichkeit hat, sich ein solches Instrument machen kann. Diesen Vorzug des Dellmann'schen Elektroscops hat Kohlrausch ganz und gar aufgegeben, denn das von ihm angegebene Instrument kann nur durch die Hand eines geschickten Mechanikers hergestellt werden. Dagegen ist nun freilich nichts einzuwenden, wenn der Apparat in dieser Form Vortheile gewährt, welche sich auf einfachere Weise nicht erreichen lassen. — Nach Kohlrausch's Angaben soll sein Elektrometer zu genauen Messungen noch in Fällen dienen, für welche die Coulomb'sche Drehwage schon zu unempfindlich ist. Ein bestimmtes Urtheil über den Werth des Elektrometers von Kohlrausch kann ich schon deshalb nicht abgeben, weil ich mit demselben nicht experimentirt habe, ich kann nicht behaupten, ob die Leistungen desselben mit dem Aufwande im Verhältniß stehen, welcher auf seine Herstellung verwendet werden muß. Mir scheint das Instrument allerdings etwas zu complicirt. Ob diese Ansicht gegründet ist, muß ich dem Urtheile derjenigen überlassen, die mit diesem Apparate praktisch gearbeitet haben. Die Resultate, welche Kohlrausch in seiner Abhandlung anführt, sprechen allerdings sehr zu Gunsten seines Instrumentes.

Bei allen elektrostatischen Messungen ist wohl gewiß die bedeutendste Fehlerquelle ein allmäliger Verlust an elektrischer Ladung in der vertheilenden Wirkung, welche der geladene Körper auf benachbarte ausübt u. s. w., zu suchen. Die Unsicherheiten, welche aus diesen Quellen entspringen, sind gewiß weit größer, als die Beobachtungsfehler, welche man beim Einstellen und Ablesen begeht. Von diesem Gesichtspunkte erscheint es überflüssig, an Elektrometern aller Art einen großen Aufwand auf Theilungen, Mikroscope u. s. w. zu verwenden.

In der erwähnten Abhandlung spricht Kohlrausch den sehr guten Gedanken aus, die elektroscopische Kraft der Volta'schen Säule zu einem brauchbaren Maaße für Reibungselektricität, oder vielmehr zur Vergleichung verschiedener Elektrometer zu benutzen.

Eine Säule von einer bestimmten Anzahl von Elementen, welche aus zusammengelötheten Streifen von Zink und Kupfer besteht, die in Gläschen mit destillirtem Wasser eintauchen, wird, wenn der eine Pol vollkommen abgeleitet ist, am andern stets dieselbe Spannung besitzen, also sehr

wohl zur Vergleichung verschiedener Elektrometer dienen können. Bei längerer (über eine Woche dauernder) Eintauchung nimmt die Spannung allerdings ab, weil sich das Zink mit Oxydul überzieht, man erhält aber die ursprüngliche Spannung wieder, wenn man nur mit einem Feilstrich das Metall wieder bloslegt.

Kohlrausch erhielt von dem Pole einer solchen Säule an seinem Instrumente während einer ganzen Woche stets den Ausschlag von 52 bis 53 Graden; nach 4 Wochen war der Ausschlag auf 46^0 gefallen, erreichte aber alsbald die ursprüngliche Größe, als das Metall wieder durch Feilstriche gereinigt wurde.

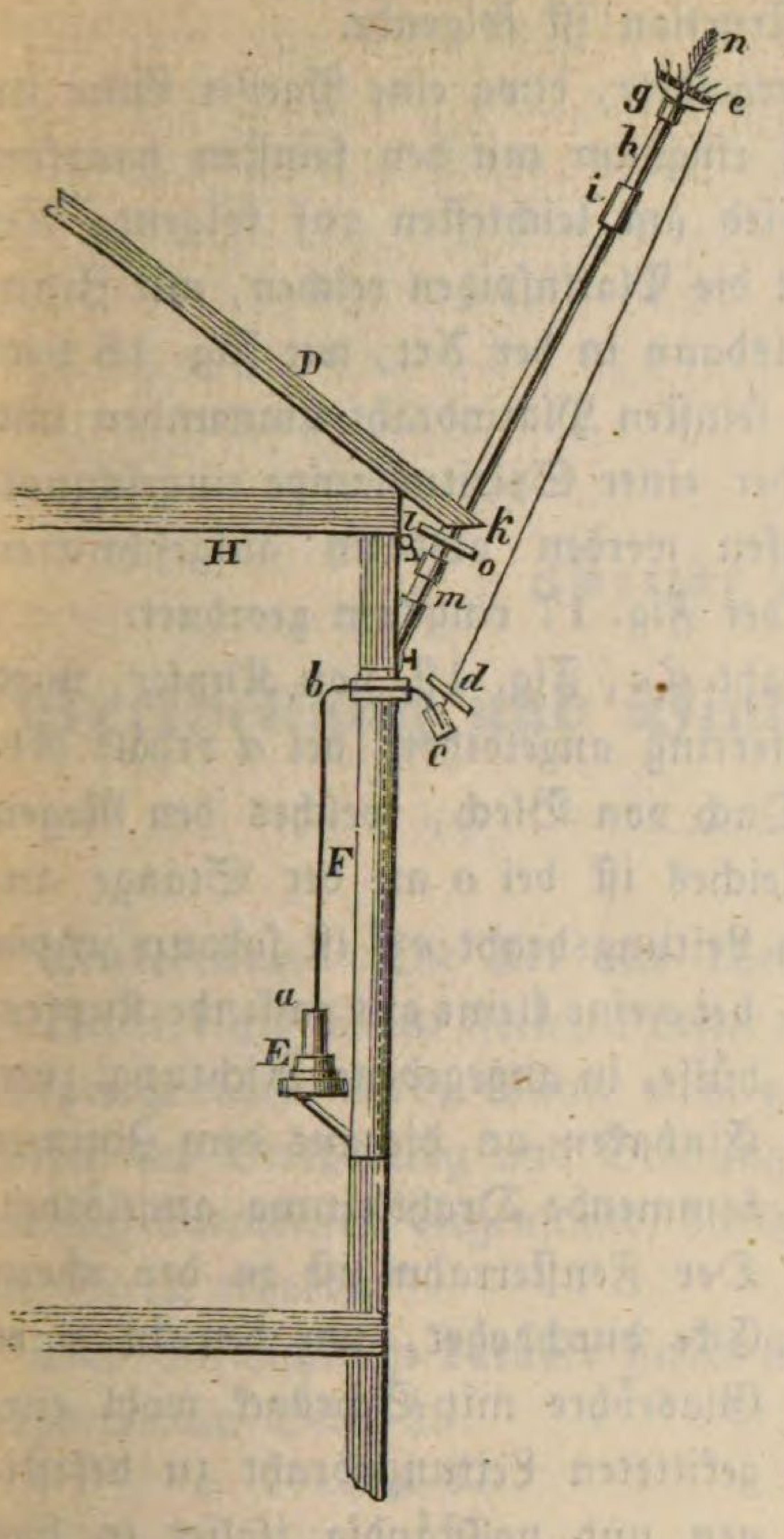
15 **Petrina's Elektroscop.** Petrina hat ein Elektroscop construirt, in welchem er die trockne Säule durch ein Elektrophor ersetzt. (Neue Theorie des Elektrophors und ein neues Harzkuchen-Elektroscop von Dr. Franz Petrina, aus den Abhandlungen der königl. Böhmischen Gesellschaft der Wissenschaften. V. Folge, Bd. 4, besonders abgedruckt. Prag 1846.) Das Goldblättchen hängt zwischen zwei Metallscheibchen, von denen das eine mit dem Deckel, das andere mit der isolirten Form eines kleinen Harzkuchen-Elektrophors in leitender Verbindung steht; durch eine besondere Vorrichtung kann die Form mit dem Kuchen gesenkt werden, wodurch dann das eine Scheibchen (das mit dem Deckel verbundene) eine positive, das andere eine negative Ladung erhält, so daß die beiden Scheibchen hier dieselbe Rolle spielen, wie die Polplatten der trocknen Säule im Bohnenberger'schen Elektrometer.

Es ist dies in der That eine recht sinnreiche Anwendung des Elektrophors und, wenn wir das Säulen-Electrometer nicht besäßen, so würden wir das Harzkuchen-Elektroscop als eine wichtige Bereicherung des elektrischen Apparates begrüßen; ob aber dies Instrument neben dem Säulen-Elektrometer eine praktische Bedeutung erlangen wird, möchte ich sehr bezweifeln. Petrina meint zwar, es sey leichter zu construiren, weil es leichter ist, einen guten Harzkuchen zu verfertigen, als eine gute Zambonische Säule, allein die Vorrichtung zum Heben und Senken des Tellers sammt Harzkuchen mag wohl den Unterschied wieder ausgleichen. Der einzige reelle Vortheil des Petrina'schen Apparates dürfte wohl nur der seyn, daß er nie durch Kraftverlust unbrauchbar werden kann, weil der Kuchen, wenn er schwach werden sollte, immer wieder elektrisch gemacht werden kann.

Was den übrigen Inhalt der Abhandlung von Petrina betrifft, so müßte er an einer andern Stelle besprochen werden, ich werde jedoch nicht weiter darauf zurückkommen, weil es sich hier nicht um neue Thatsachen handelt, sondern um Ansichten, deren Richtigkeit noch sehr problematisch ist.

16 **Beobachtung der atmosphärischen Elektricität.** Romershausen hat einen Apparat zur Beobachtung der atmosphärischen Electricität

Fig. 16.



construirt, dessen Einrichtung aus Fig. 16 ersichtlich ist. (P. A. LXIX, 71).

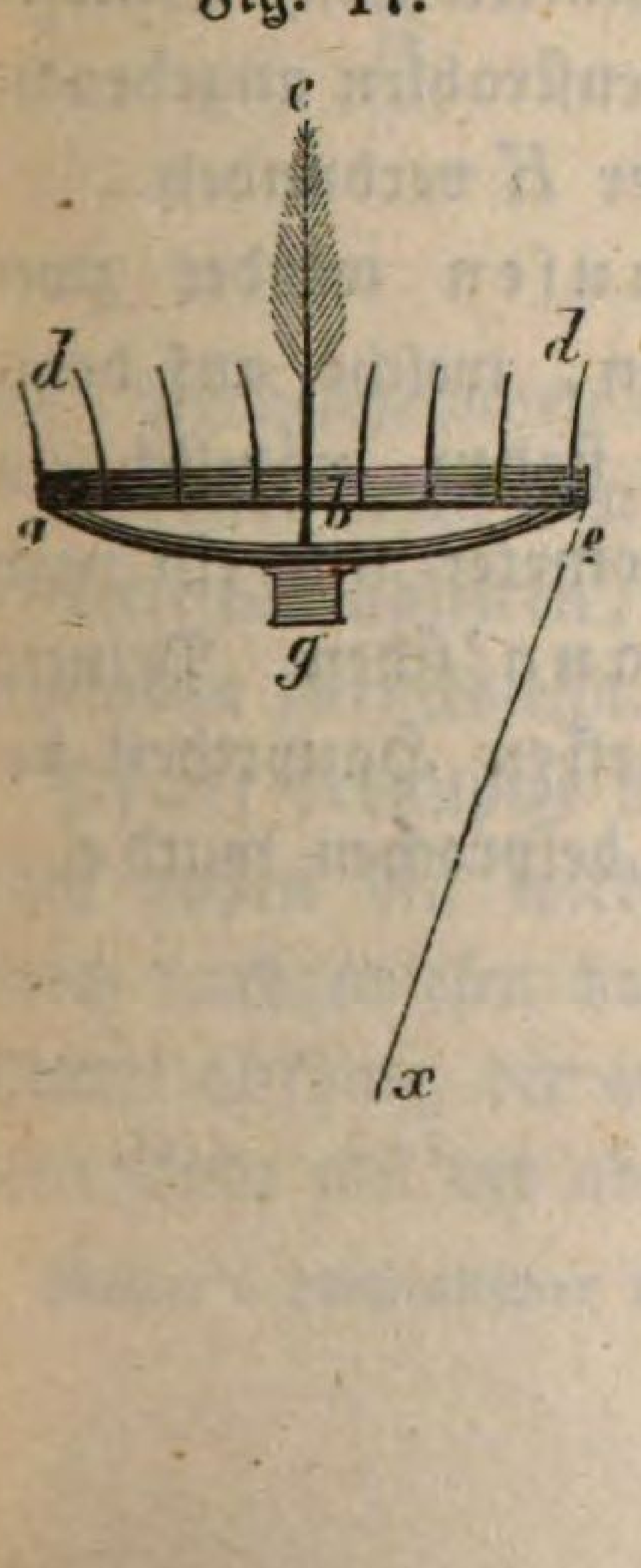
Fig. 16 zeigt die Anbringung der Auffangvorrichtung an jeder beliebigen Wohnung und für jedes Stockwerk derselben.

H das Haus, dessen Dach *D* ohne Nachtheil die Auffangsvorrichtung überragen kann. *F* irgend ein Fenster des Wohnzimmers eines Beobachters.

mn die Auffangstange in gewöhnlicher Construction. Sie ruht oberhalb des Fensters in einem starken eisernen Schuh *m* und wird, vermittelst eines einzuhängenden Hakens *l*, in einem Einschnitt *k* des Daches leicht und sicher befestigt. Sie ragt seitwärts vom Haus in das Freie hinaus und hat folgende besondere Einrichtung.

Die etwa 10 bis 12 Fuß lange Stange von lackirtem Tannenholze, ist bei *i* mit einer Messinghülse versehen, in welche der massive, mit Schellack überzogene $1\frac{1}{2}$ Fuß lange Glasstab *h* eingekittet ist. Dieser trägt alsdann oberhalb die Auffangsvorrichtung *gn*.

Fig. 17.

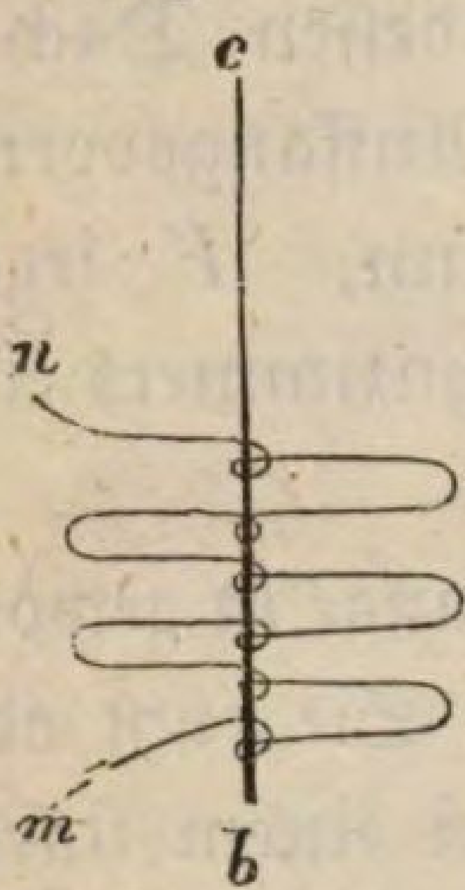


Zu mehrerer Deutlichkeit ist diese Auffangsvorrichtung in Fig. 17 größer und im Durchschnitt gezeichnet. *ae* ist ein 5 Zoll im Durchmesser haltender flacher Kupferring, an welchen im Innern die kupfernen, galvanisch vergoldeten und nach oben fein zugespitzten Auffangsdrähte *dd* angelöthet sind, so daß sie, etwas nach Außen gebogen, gleichsam eine Krone bilden. Eine im Durchmesser derselben angebrachte und etwas nach unten gebogene Kupferschiene trägt unterhalb die Hülse *g* zur Befestigung auf der Glasstange *h*, und oberhalb ist eine höhere Drahtspitze *bc* eingelöthet. Diese Drahtspitze ist das wichtigste der ganzen Vorrichtung, da sie allein,

nach sicherer Erfahrung, die feinsten Nüancen der atmosphärischen Elektricität bemerklich macht. Ihre Construction ist folgende.

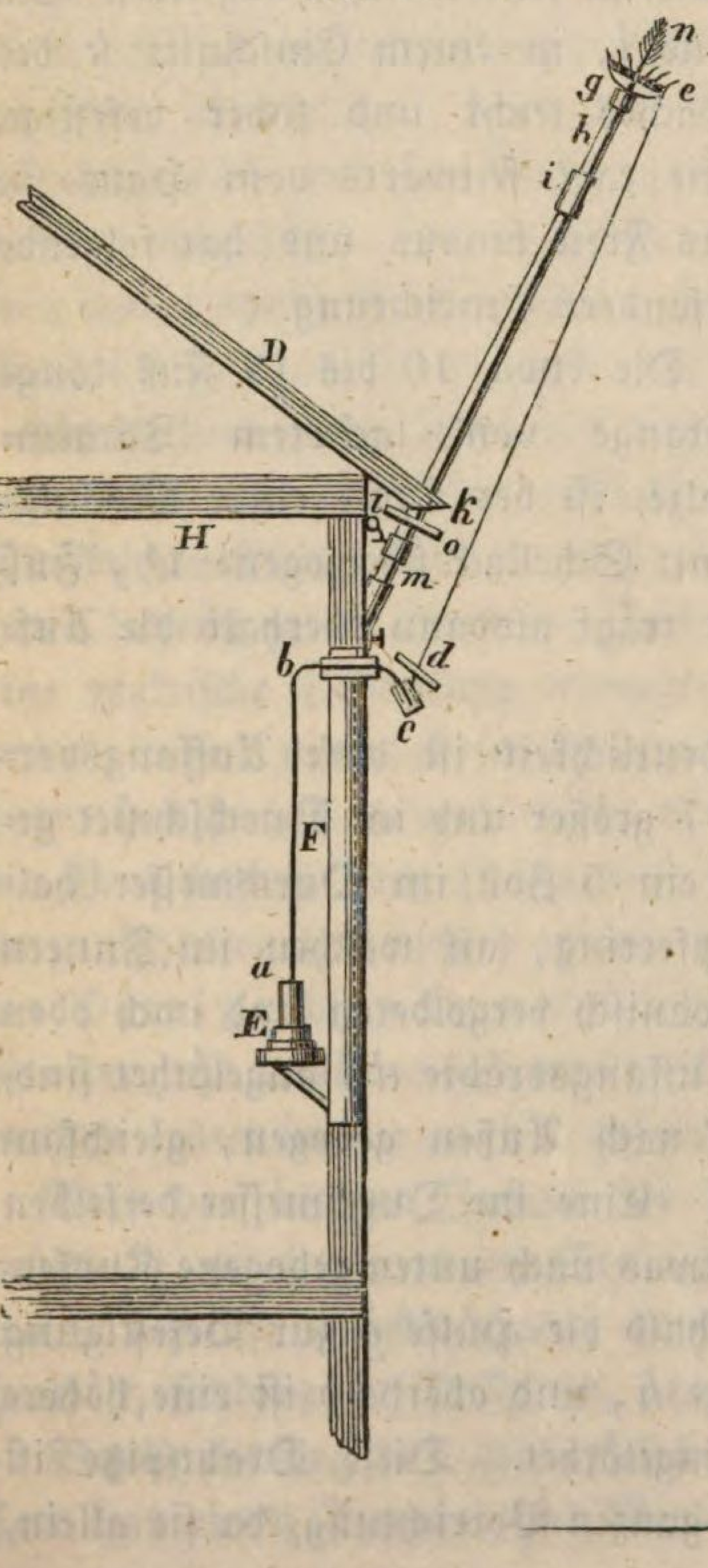
Der oben fein zugespitzte und vergoldete, etwa eine Pariser Linie im Durchmesser haltende Kupferdraht ist ringsum mit den feinsten haarförmigen Platinspitzen umgeben und wird am leichtesten auf folgende Art verfertigt: Der Draht wird, so weit die Platinspitzen reichen, mit Zinnloth überzogen, alsdann in der Art, wie Fig. 18 verdeutlicht, mit dem feinsten Platindraht umwunden und die Windungen über einer Spirituslampe eingeschmolzen. Die Schleifen werden alsdann aufgeschnitten und nach Ansicht der Fig. 17 ringsum geordnet.

Fig. 18.



Der Leitungsdraht *de*, Fig. 19, von Kupfer, wird bei *e* an den Kupferring angelöthet, bei *d* erhält derselbe ein kleines Dach von Blech, welches den Regen abführt. (Ein gleiches ist bei *o* an der Stange angebracht.) An den Leitungsdraht *ed* ist sodann unten bei *c* eine kleine gut passende Kupferhülse, in angegebener Richtung, zum Einhaken an die aus dem Zimmer kommende Drahtleitung angelöthet. Der Fensterrahm ist in der obern Ecke durchbohrt, um den in einer Glasröhre mit Schellack wohl eingekitteten Leitungsdraht zu befestigen und vollständig isolirt in das Zimmer zu führen. Bei *b* ist derselbe nach *a* herabgebogen und mit dem seitwärts vom Fenster und außer der unmittelbaren Einwirkung der Sonnenstrahlen angebrachten Elektrometer *E* verbunden.

Fig. 19.



Romershausen wendet zwei Elektrometer an, welche auf demselben Kästchen stehen, nämlich ein Säulen-Elektrometer und ein nach dem Dellmann'schen Princip construirtes, dessen Hauptheil bereits Seite 29 besprochen wurde.

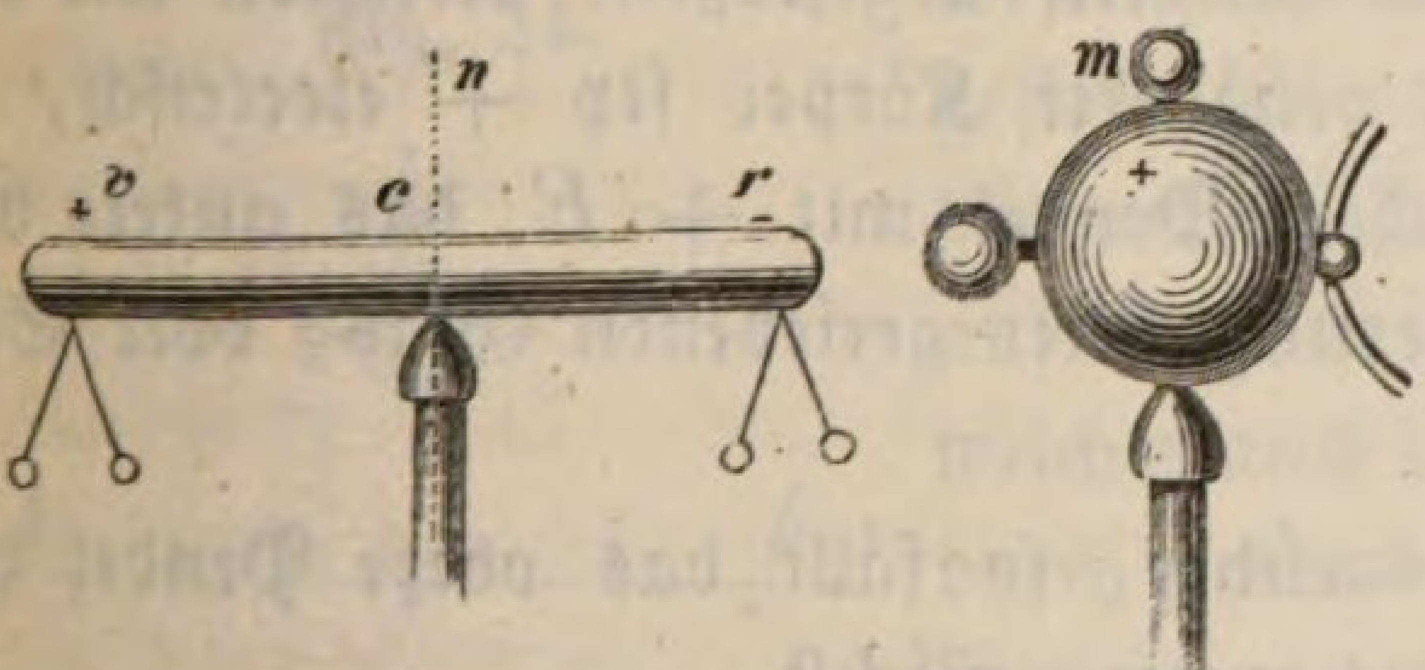
Zweiter Abschnitt.

Vertheilung und Bindung der Elektricität.

Einleitung. Die Art und Weise, wie Biot die Vertheilung der Elektricität auf einem isolirten Leiter nachgewiesen hat, dem ein elektrischer Körper genähert wird, könnte wohl genügen, um jeden Zweifel über das Wesen der Vertheilung und Bindung der Elektricität zu heben; dennoch hat sich über diesen Gegenstand, durch Pfaff's Einwendungen veranlaßt, ein Streit erhoben. 17

Das Geschichtliche darüber findet sich im zweiten Bande von Dove's Repertorium Seite 29.

Fig. 20.

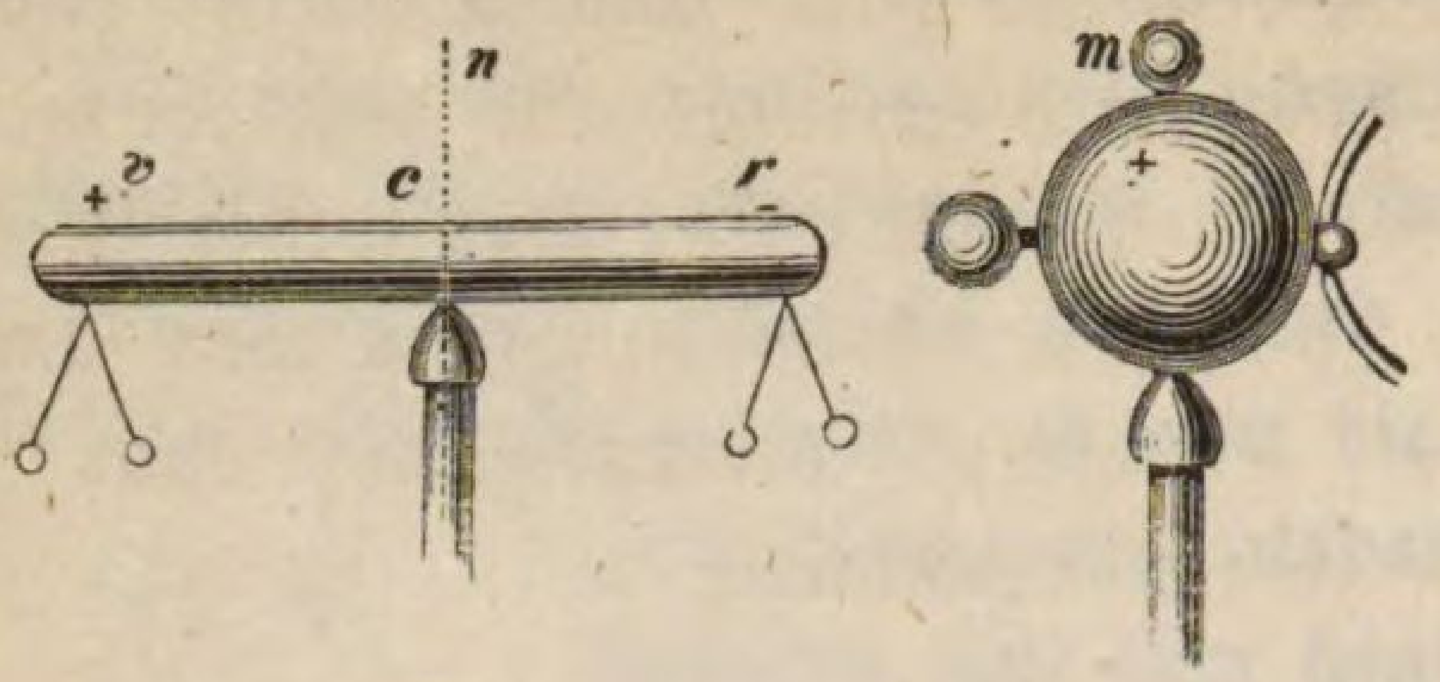


Nähert man einem etwa positiv geladenen Körper m, Fig. 20, einen isolirten Conductor c, so wird c bekanntlich durch Vertheilung elektrisch; auf dem gegen m gerichteten Ende findet sich die angezogene $-E$, am entgegengesetzten Ende die abgestoßene $+E$, wie man dieß durch das Probescheibchen nachweisen kann.

Berührt man den isolirten Conductor, so kann man die abgestoßene Elektricität ableiten, während die von m angezogene Elektricität auf c gebunden zurückbleibt.

Pfaff behauptet nun, daß diese gebundene Elektricität durchaus nicht nach außen hin wirken könne, während Biot diese freie Wirkung dadurch nachgewiesen hatte, daß er an beide Enden des Conductors elektrische Pendel aufhing, die an dem einen Ende mit der angezogenen, an dem andern Ende mit der abgestoßenen Elektricität divergiren. Berührt man den

Fig. 21.

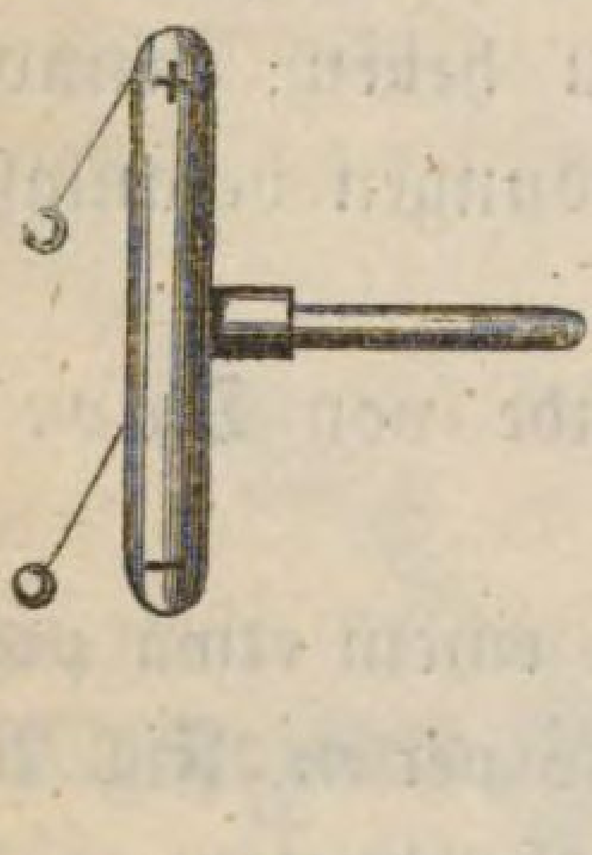


Conductor, so fällt das entferntere Pendelpaar zusammen, während die Bewegung des zunächst bei *m* hängenden Pendelpaares zunimmt.

Obgleich dieser Versuch bei einiger Vorsicht, namentlich wenn *m* nicht zu stark geladen ist, nicht leicht mißlingt, so ist es doch mehreren Beobachtern nicht gelungen, ihn rein darzustellen, wodurch wohl der ganze Streit über die Natur der gebundenen Elektricität entstanden seyn mag. Das Mißliche des Versuchs entsteht, wie Rieß richtig bemerkt, dadurch, daß die Elektricität des vertheilenden Körpers rechtwinklig gegen die elektroscopischen Pendel wirkt und sie von ihrer perpendiculären Stellung ablenkt.

Rieß hat diesen Uebelstand durch folgende Anordnung des Versuchs vermieden. Ein ungefähr 5 Zoll langer und 3 Linien dicker Metallstab mit abgerundeten Enden ist in seiner Mitte an einem isolirenden Handgriff befestigt, wie Fig. 22 zeigt, und wird vermittelst dieses Handgriffs in vertikaler Stellung gehalten. Oben und unten ist er mit einer an einem Leinenfaden hängenden Hollundermark-Kugel versehen.

Fig. 22.



Nähert man von unten her einen elektrischen Körper, so werden beide Kugeln abgestoßen. Nehmen wir an, der von unten genäherte Körper sey + electrisch, so divergirt das obere Pendel mit $+E$, das untere mit $-E$, wie sich leicht durch Annäherung einer geriebenen Glas- oder Siegellackstange zeigen kann.

Wird nun der Stab ableitend berührt, so fällt das obere Pendel zusammen, während die Divergenz des untern wächst.

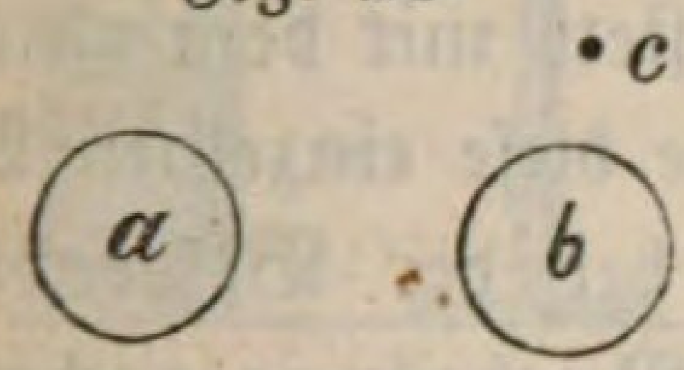
Am untern Ende des Stabes befindet sich jetzt nur gebundene $-E$, eben so in der unteren Kugel; die Elektricität des unteren Stabendes wirkt also, obgleich sie gebunden ist, abstoßend auf die gleichnamige gleichfalls gebundene Elektricität der Kugel; die gebundene Elektricität wirkt also frei in die Ferne ganz eben so, als ob sie nicht gebunden sey.

Die Divergenz des unteren Pendels beweist, daß sich die Theilchen der gebundenen Elektricität unter einander gerade eben so abstoßen, wie dies bei der nicht gebundenen Elektricität der Fall ist, folglich kommt der gebundenen Elektricität das Propagationsvermögen eben so zu, wie der freien, und wenn man die gebundene Elektricität durch leitende Verbindung mit

dem Boden nicht abführen kann, so liegt dieß nicht darin, daß die gebundene Elektricität kein Propagationsvermögen hat, sondern darin, daß sie durch die Anziehung der entgegengesetzten Elektricität auf dem vertheilenden und bindenden Körper zurückgehalten wird. Der gebundenen Elektricität das Propagationsvermögen absprechen, heißt ungefähr eben so viel, als wenn man behaupten wollte, ein Stein, der auf dem Boden liegt, habe eben dadurch seine Fähigkeit zu fallen verloren.

Durch den Rieß'schen Versuch ist nun gegen allen Widerspruch bewiesen, daß die gebundene Elektricität ganz eben so in die Ferne wirkt, als ob sie nicht gebunden wäre.

Fig. 23.

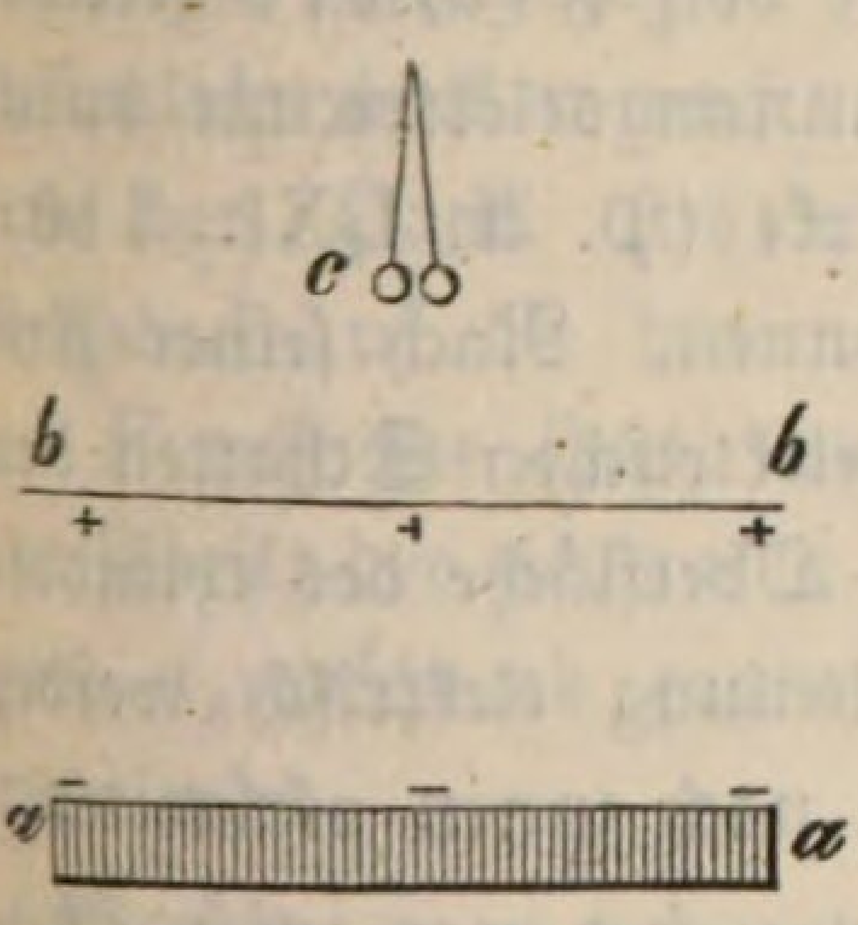


Wenn ein elektrischer Körper a die entgegengesetzte Elektricität auf einem mit dem Boden in leitende Verbindung gebrachten Leiter b gebunden hat, so wirkt auf irgend einen in der Nähe befindlichen Punkt c sowohl die Elektricität von a als auch die von b, weil aber a und b mit entgegengesetzter Elektricität geladen sind, so kann in c nur die Differenz ihrer Wirkungen beobachtet werden.

Nachdem man nun durch den Rieß'schen Versuch die besprochene Frage wohl als abgemacht betrachten konnte, erhebt Knochenhauer abermals neue Bedenken (P. A. XLVII. 444).

Er machte nämlich einen Harzkuchen elektrisch, spannte über ihn in beliebigen Abständen ein Stanniolblatt aus und nahm durch Berührung desselben mit dem Finger die freie negative Elektricität fort. Nähert man diesen Apparat, welcher Fig. 24 schematisch dargestellt ist, von unten zweien an leinenen Fäden hängenden Hollundermarkkügelchen, so zeigt sich auf keinerlei Weise eine Divergenz derselben, welches auch die Entfernung des Pendels von dem durch gebundene $+ E$ geladenen Stanniolblatte seyn mogte.

Fig. 24.



Knochenhauer folgert aus diesem Versuche, daß, wenn zwei entgegengesetzte Elektricitäten sich je nach ihrer Distanz vollständig binden, sie alle Wirkung nach außen verlieren und allein in Beziehung auf einander stehen, denn man könne doch nicht annehmen, daß, falls wirklich die gegenseitig gebundenen Elektricitäten noch frei nach außen wirken könnten, diese Wirkungen sich für alle Punkte über dem Stanniolblatte vollständig neutralisiren würden.

Diese Knochenhauer'schen Einwürfe hat nun Fechner vollständig widerlegt (P. A. LI. 321). Er hat gezeigt, daß man mit Hülfe der

an leinenen Fäden hängenden Hollundermarkkugeln nur deshalb keine elektrische Wirkung oberhalb der vertheilten Platte nachweisen kann, weil sie gegen schwache Ladungen zu unempfindlich sind. Bringt man an die Stelle dieser Pendel eine Probeplatte, berührt man diese für einen Moment ableitend mit dem Finger, so zeigt sich diese Probeplatte nachher am Säulen-Elektrometer allerdings elektrisch und zwar gleichnamig mit *bb*, ein Beweis, daß die Wirkung, welche *a a* auf *c* ausübt, die Wirkung der gebundenen Elektricität in *b b* auf *e* überwiegt.

Fechner hat diesen Versuch nicht allein in der eben besprochenen Form, sondern in mehrfacher Weise abgeändert und stets mit dem gleichen Erfolge wiederholt. Es wird nicht nöthig seyn, alle diese einzelnen Versuchsformen zu beschreiben, namentlich da wir bei der Besprechung der Faraday'schen Untersuchungen über elektrische Vertheilung nochmals auf einige Punkte der Fechner'schen Arbeit zurückkommen.

Am Schlusse des Berichtes über diese Versuche sagt Fechner:

»Nach den vorstehenden Versuchen dürfte man hinreichend berechtigt seyn, die anziehenden und abstoßenden Wirkungen der bindenden und der sogenannten gebundenen Elektricität aus demselben Gesichtspunkte zu betrachten, als die freie Elektricität. Die gebundene Elektricität wird dadurch, daß sie gebunden ist, durchaus mit keinen neuen Eigenschaften begabt. Wenn ihre Anziehung und Abstoßung nicht mehr spürbar wird, so erklärt sich dies dadurch, daß sie von der entgegengesetzten Wirkung der bindenden Elektricität stets im Gleichgewicht gehalten oder überwogen wird u. s. w.«

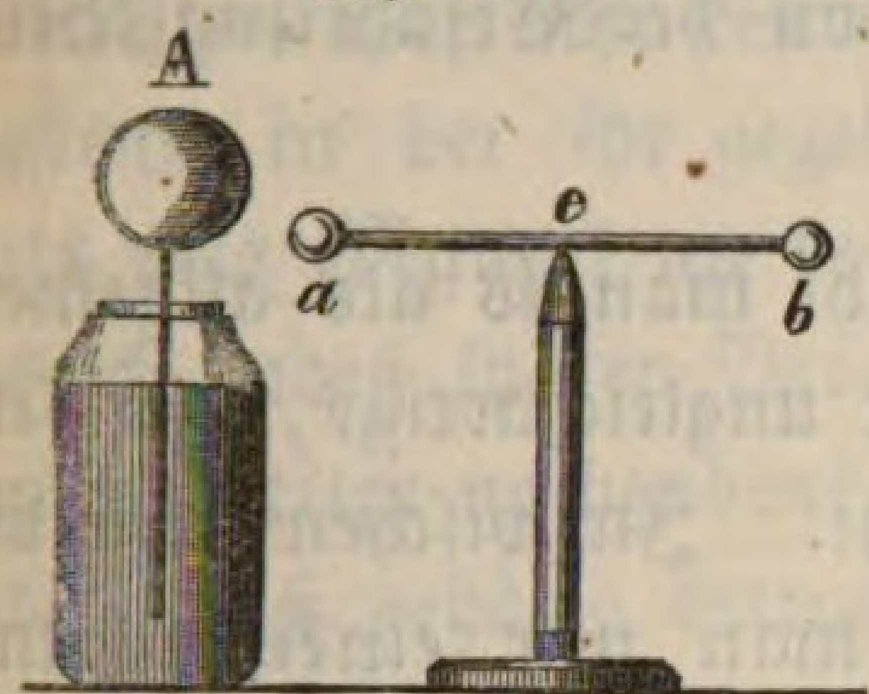
Petrina hat zwar abermals Zweifel gegen die von Fechner gerechtfertigte Ansicht zu erheben gesucht, daß die Spannungselektricität durch einen nicht isolirten Elektricitätsleiter hindurchwirke (P. A. LXI. 116), ohne jedoch etwas Entscheidendes vorbringen zu können. Nach seiner Ansicht rührt die Elektricität, welche Fechner im elektrischen Schatten der oberen Metallplatte fand, daher, daß die krumme Oberfläche des cylindrischen Raumes über der oberen Platte durch Vertheilung elektrisch werde, und daß sich von da aus die vertheilende Wirkung nach innen verbreitet.

Petrina hat diese abentheuerliche Idee weder begründet, noch die sich aus ihr ergebenden Consequenzen weiter ausgeführt. Es bleibt dunkel, wie er sich den Vorgang eigentlich vorstellt.

Daß die Elektricität einer kräftigen Elektrisirmaschine durch eine Zimmerwand und eine geschlossene Thür hindurch keine merkliche vertheilende Wirkung mehr ausüben kann, darf uns wahrlich nicht befremden, und kann durchaus nicht als Argument gegen die von Fechner vertheidigte Ansicht gelten.

Im weiteren Verlauf der oben beſprochenen Fechner'ſchen Abhandlung beſchreibt derſelbe Verſuche, die er anſtellte, um zu ermitteln, wie ſich die Elektricität auf einem iſolirten vertheilten Körper verbreitet. Die weſentlichſten Reſultate dieſer Verſuche ſind folgende.

Fig. 25.



Eine kleine Leidner Flaſche war mit einer Metallkugel A (Fig. 25) von 3 Zoll Durchmeſſer verſehen, poſitiv geladen und iſolirt aufgeſtellt. Der Kugel gegenüber wurde ein meſſingener Leiter $a\,c\,b$ iſolirt aufgeſtellt. Dieſer Leiter iſt cylindriſch, von 5,2 Linien Durchmeſſer, mit kugelförmigen Knöpfen von 8,3 Linien Durchmeſſer an den Enden und 16 Zoll Länge. a und A ſtanden 2 Zoll von einander ab.

Wurde der Leiter bei a ableitend mit dem Finger berührt, ſo zeigte ein Probeſcheibchen ſtets negative Elektricität, an welcher Stelle des Leiters man es auch anlegen mogte, ſelbſt bei b fand ſich negative Elektricität, doch mit zunehmender Stärke nach a hin. Auch auf den ableitend berührenden Finger oder die Hand geſetzt, nahm die Probeſcheibe $-E$ an.

Wurde nun die Hand zurückgezogen, ſo daß der Leiter $a\,b$ wieder iſolirt war, ſo gab die größere Hälfte nach b zu poſitive, die kleinere nach a zu negative Elektricität an die Prüfungsplatte ab.

Dies Reſultat ſcheint anfangs auffallend, erklärt ſich aber ſehr leicht durch folgende Betrachtung:

Wenn der Leiter bei a ableitend berührt wird, ſo iſt auf der Hand auch von A angezogene $-E$ angehäuft, die jedenfalls abſtoßend auf die in a befindliche wirken muß. In a halten ſich die abſtoßende Wirkung der $-E$ von der Hand aus und die anziehende Wirkung der $+E$ in der Kugel A auf die hier vorhandene $-E$ das Gleichgewicht, wird alſo die $-E$ auf der Hand entfernt, ſo kann ſich in a mehr $-E$ anhäufen, ein Theil der neutralen E auf $a\,b$ wird noch zerſetzt, die $-E$ ſtrömt nach a, während gegen b hin ſich die von A abgeſtoßene $+E$ anſammeln wird.

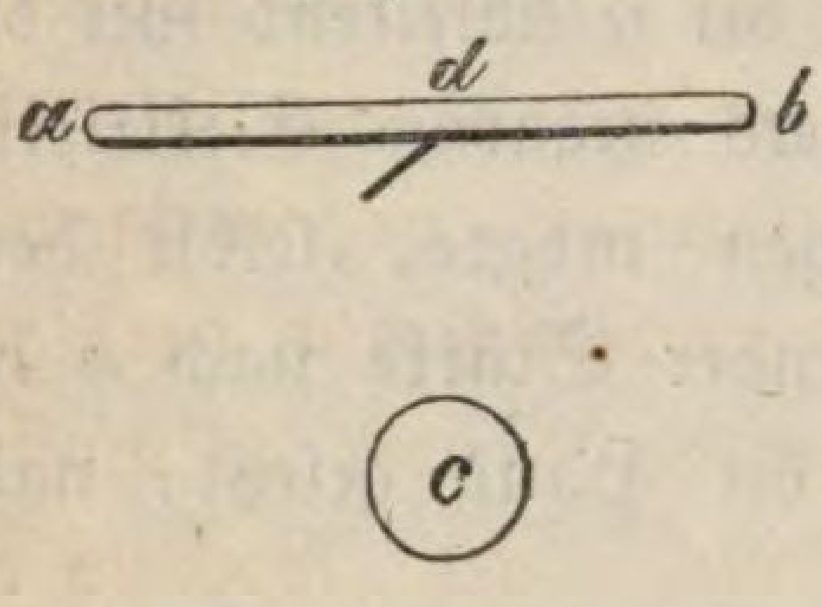
Berührt man dagegen den Leiter ableitend bei b, ſo zeigt er ſeiner ganzen Länge nach $-E$, wachſend von b nach a, doch bei b nur ſehr ſchwach; zieht man den Finger zurück, ſo zeigt ſich auch noch jetzt der ganze Leiter negativ elektriſch, wachſend von b nach a zu; wie es wohl vorauszuſehen iſt.

Welche Anordnung der Elektricität auf einem Leiter eintreten müſſe, welcher vertheilenden Einflüſſen ausgeſetzt iſt, wurde von Poiſſon auf rein mathematiſche Beſtimmungen gebracht, die auf nichts fußen, als

auf den bekannten Anziehungs= und Abstoßungsgesetzen der Elektricität. Die practische Anwendung des Princips stößt aber in vielen Fällen auf große Schwierigkeiten, weil es sich um die Zusammensetzung und Zerlegung der Wirkungen von unendlich vielen Punkten handelt. Mit allgemeinen Betrachtungen ist begreiflicher Weise nicht viel auf einem Felde zu erzielen, auf welchem die Ermittelung der Resultate selbst für den Calcul zu schwierig wird. In solchen Fällen wird man von der Erfahrung Belehrung suchen müssen.

Wenn ein isolirter Leiter vertheilt wird, so sieht man es als allgemeine Regel an, daß die der vertheilenden Elektricität ungleichartige, ihr selbst möglichst nahe, die gleichartige möglichst fern geht. Inzwischen läßt diese Regel, selbst wenn man nur einen allgemeinen Anhalt darin suchen will, vieles unbestimmt.

Fig. 26.



Eine isolirte leitende Scheibe, *a b* (Fig. 26) sey der vertheilenden Wirkung einer elektrisirten Kugel *c* ausgesetzt. Wie werden sich die beiden Elektricitäten auf *a b* vertheilen? Sind die Ränder *ab* der vertheilten Scheibe oder ist die Mitte der Rückseite *d* als der entfernteste Punkt der Scheibe anzusehen? Hat man, wenn *c* positiv ist, in *d* positive oder negative Elektrität zu erwarten?

Fechner stellt eine Reihe von Versuchen an, eine dieser Fragen zu beantworten. Die angezogene — *E* ist auf der Mitte der Vorderfläche am stärksten angehäuft und nimmt nach dem Rande zu ab; auf der Rückseite findet sich die abgestoßene + *E*, deren Dichtigkeit in der Mitte bei *b* sehr gering nach dem Rande hin zunimmt. Die abgestoßene + *E* greift noch um den Rand herum, so daß sich am Rande auch auf der Vorderseite noch + *E* befindet; die Indifferenzlinie zwischen + *E* und — *E* liegt also auf der Vorderseite, und zwar rückt sie der Mitte um so näher, je mehr die vertheilende Kugel der vertheilten Scheibe genähert wird.

Aehnliche Versuche stellte Fechner mit Stäben und Streifen von Metall an.

18 **Knochenhauer's weitere Untersuchungen über gebundene Elektricität.** Die Fechner'schen Versuche waren nicht im Stande, alle Zweifel Knochenhauer's über das Wesen der gebundenen Elektricität zu heben. Diese Zweifel veranlaßte ihn zu einer weiteren Reihe von Versuchen, die wir jetzt besprechen wollen.

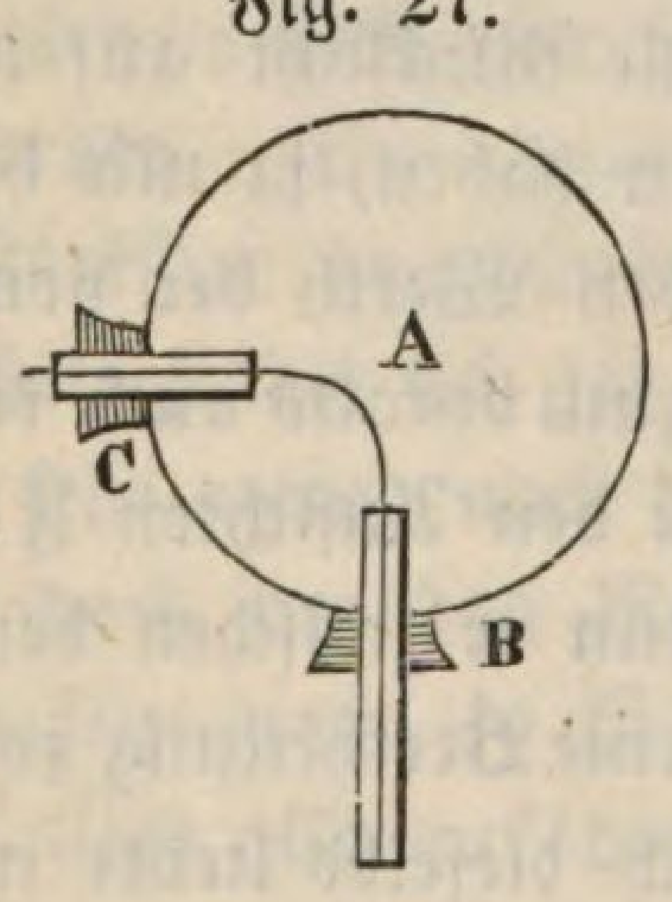
Der nächste hierher gehörige Aufsatz Knochenhauer's (P. A. LVIII. 31) führt die Ueberschrift »Versuche über gebundene Elektricität.« Der Eingang zu diesem Aufsatz lautet wörtlich so:

„Aus der Abhandlung von Fechner in diesen Annalen, worin er die »von mir ausgesprochene Ansicht über das Verhalten der gebundenen Elektricität zurückweist, lernte ich sowohl die Unzulänglichkeit der von mir beigebrachten Versuche kennen, als auch den Fehler in meiner Ansicht, wenigstens in der ihr gegebenen Ausdehnung und Fassung. Ich ließ damals aus Mangel an besseren Hülfsmitteln die Sache auf sich beruhen. »Als ich indeß später Veranlassung hatte, über die Grundgesetze der Elektricität weiter nachzudenken, dabei namentlich die Arbeiten von Faraday »und Rieß gehörig betrachtete und mehrere von ihren Angaben selbst untersuchte, da entstanden mir wiederum neue Zweifel über die Wahrheit »der hergebrachten Ansichten von dem Verhalten der gebundenen Elektricität in ihrer Beziehung zu der ursprünglichen Elektricität, von welcher sie »eben gebunden wird. Einzelne Thatsachen, die unwiderleglich vorlagen, »konnten entweder von mir danach nicht erklärt werden, oder es mußten »wenigstens manche Umstände noch in ein helleres Licht gesetzt werden, um »sicheren Aufschluß zu bekommen. Um mir nun diesen Aufschluß zu verschaffen, habe ich eine Reihe von Versuchen mit aller mir möglichen »Sorgfalt angestellt, und obschon auch diese bis jetzt keineswegs als abgeschlossen angesehen werden kann, so glaube ich sie doch zunächst mittheilen »zu dürfen, indem ich die Fortsetzung bis auf eine andere freie Zeit verschieben muß. Ich werde diese Versuche ohne alle Rücksicht auf irgend »eine Theorie mittheilen, rein, so wie sie sich ergeben haben, ja mit hinreichendem Detail, um Anderen das Urtheil über den Werth der von mir »abgeleiteten Formeln zu erleichtern; indeß will ich zum voraus auch keineswegs verschweigen, daß ich nach ihnen ziemlich zu den Ansichten Faraday's gelange, nur mit dem Unterschiede, daß wenn er zwischen den beiden Körpern, die sich gegenseitig elektrisch binden, eine Vertheilung in dem »von ihm so benannten Dielectricum annimmt, ich dieselbe lieber in den »Aether setzen mögte, der sowohl im leeren Raume als im Dielectricum »enthalten ist. Ich halte nämlich dafür, daß wir bei der Elektricität den »positiven und den negativen Strom nie von einander trennen dürfen, und »daß wo der eine ist, auch der andere in entgegengesetzter Richtung an derselben Stelle vorkommt; wenn demnach zwei Körper in Wechselwirkung »mit einander stehen, der eine positive, der andere negative Elektricität »enthält, und wenn endlich der Funke erfolgt, so kann weder der Hergang »der seyn, daß von einem Körper positive, vom andern negative Elektricität ausgeht, die sich in der Mitte vereinigen, noch kann eine allein den »Weg durchlaufen, sondern auf dem ganzen Wege des Funkens ist positive

»und negative Elektricität zugleich. Dieß aber ist wieder nur dann mög»lich, wenn vorher, ehe der Funken überschlägt, in dem Zwischenraume »selbst irgend eine besondere Disposition vorangeht; ich will sie elektrische »Spannung des Aethers nennen. Diese wird durch fortgesetzte Ladung ge»steigert, und kommt endlich zu einem solchen Grade, daß der Nichtleiter »ihrem Andrange nicht mehr widerstehn kann, und die elektrische Schwingung »des gespannten Aethers erfolgt. Für nichts anderes nämlich als für eine »eigenthümliche Schwingung, deren Art und Weise noch zu finden ist, be»trachte ich den Funken. Doch ich übergehe das Weitere, das bis jetzt nur »Hypothese bleibt, und kehre zu den Versuchen selbst zurück.

»Ich will jetzt zuerst erwähnen, was mir in den bisherigen Thatsachen vor»nehmlich auffallend war. Nimmt man einen isolirten Leiter *A* von passender »Form, theilt ihm z. B. positive Elektricität mit, und stellt in zweckmäßigen »Entfernungen hinter einander zwei andere nicht isolirte Körper *B* und *C*, so er»halten beide nach hergestelltem Gleichgewicht gebundene negative Elektricität, »und wenn sie sich frei bewegen können, so geht *B* von *C* ab nach *A* zu, *C* von »*B* ab weiter von *A* fort. Die negative Elektricität auf *C* soll der Ueberschuß »seyn von der von *A* aus gebundenen negativen und von der von *B* aus gebun»denen positiven Elektricität. Hier fragt sich nun, findet die electrische Verthei»lung und die elektrische Anziehung nach denselben oder nach differenten »Gesetzen Statt; gilt der erstere Fall, wie man doch gewöhnlich annimmt, »wie kann in *C* die positive Elektricität von *A* »mehr binden, als die negative von *B*, und »doch die Anziehung von *A* aus geringer seyn, »als die von *B* aus? — Ferner nahm ich »eine Glaskugel von etwa 2 Zoll Durchmes»ser, die bei *B* und *C* (Fig. 27) zwei Oeff»nungen mit Hülsen hatte; in die untere »steckte ich durch Schellack eine etwa einen Fuß »lange Glasröhre, in die andere *C* eine kür»zere mittelst eines Korkes; durch beide Röh»ren ging ein dünner Kupferdraht, der bei *C* ein wenig hervorsah, die Kugel »selbst war mit Lack überzogen. Wenn man diese Glaskugel an der Röhre »*B* hielt, indem man den Draht zugleich faßte, und sie einem stark negati»ven Conductor so näherte, daß von der Spitze *C* aus derselbe nicht gesehen »werden konnte, so strömte doch von *C* ein deutlicher, über ¼ Zoll langer »Büschel positiver Elektricität aus. Dieses Strömen soll von der ge»bundenen positiven Elektricität entstehen, die hier etwa in der Mitte »des Drahts bei *A* sich findet; dies zugegeben, so geht die strömende po»sitive Elektricität offenbar abwärts vom Conductor in die Luft, und

Fig. 27.



»könnten wir jetzt den Conductor so schützen, daß seine negative Elektri»cität keine anderweitige Ableitung fände (welche Unmöglichkeit wenig»stens mit der Spitze C nichts zu thun hat), so bliebe der Hergang unaus»gesetzt derselbe, und wir hätten in der That ein perpetuum mobile con»struirt. Ward übrigens die Kugel gedreht, so verstärkte sich nach und »nach der positive Büschel; füllte man sie mit Feilspähnen, so ward der Her»gang nicht geändert. — Eine wohl isolirte Metallkugel mit zwei Spitzen »nach entgegengesetzter Richtung werde in die Nähe eines z. B. positiv elek»trischen Conductors gesetzt, so strömt die zugewandte Spitze negative, die »abgewandte positive Electricität aus. Bei zwei verschiedenen Elektri»citäten muß hier Zersetzung in der Kugel stattfinden, die demnach nie auf»hört. Doch dieser Versuch war mir in einer anderen Beziehung noch »wichtiger; hält man einen isolirten Metallstab, woran unten und oben »ein Pendel befestigt ist, über einen geladenen Conductor, läßt aber an den »Metallfäden der Pendel unten die Kugel fort, so begeben sich beide Pen»del von dem Metallstabe abwärts, allein der untere strömt die dem Con»ductor entgegengesetzte, der andere die gleiche Elektricität aus. Der Ver»such ist der ursprünglich von Rieß angegebene. Es zeigt sich hier eben»falls die Ablenkung, aber zugleich ein Zusammenhang mit der Entladung. »Welcher Umstand gilt demnach als Hauptsache? — Unter den von Rieß »streng ermittelten Thatsachen blieb mir, wie an der fraglichen Stelle »gleichfalls schon bemerkt ist, immer die merkwürdigste, daß die Erwärmung »im Schließungsdrahte umgekehrt zum Quadrate seines Querschnitts steht, »also vom Quadrate der Intensität des durchgehenden Stromes abhängt. »Ich kann hierin nur die Thatsache erblicken, daß jeder elektrische Strom »ein zwiefacher ist, und hätte Rieß seine Formeln so gestellt, daß er die »Erwärmung einmal von der Intensität i und zweitens von der Dauer t »des Stromes abhängig gesetzt hätte, so wäre die Erwärmung ϑ unter ent»sprechenden Umständen immer zu i^2t proportional gewesen; denn da i pro»portional mit $\frac{q}{s}$ nach seiner Bezeichnung wächst und t direct mit q, um»gekehrt mit der Intensität i oder $\frac{q}{s}$ zunimmt, so geht dadurch die Er»wärmung mit $\frac{q^2}{s}$ proportional. Also auch hier der Doppelstrom. Nicht »weniger merkwürdig ist der Umstand, daß die Intensität bei der Entla»dung proportional zur Länge des Funkens ist; ja das Auffallende würde »noch mehr hervortreten, wenn man den Abstand der beiden Kugeln zwi»schen denen sich die Batterie entladet, weiter ausdehnen und die Gültig»keit dieses Gesetzes auch bei größeren Entfernungen durch Versuche nach»weisen könnte. — So viel von den Dingen, die mich zu weiteren neuen

»Versuchen veranlaßten. — Das erste, was ich mir selbst zu ermitteln »vorsetzte, war die Bestimmung der Quantität der gebundenen Elektricität »in verschiedenen Entfernungen.«

Ich habe diese Einleitung nur als ein Beispiel der höchst confusen Darstellungsweise angeführt, welche sich durch alle Abhandlungen Knochenhauer's durchzieht. Was er eigentlich will, muß der Leser in den meisten Fällen errathen. Er wirft die verschiedenartigsten Dinge, die er durch nebelhaft gehaltene theoretische Andeutungen zu verbinden sucht, bunt durcheinander. Die Schlüsse, die er aus seinen Versuchen zieht, sind meist sehr unklar entwickelt, und selten ist es ihm gelungen, ein einfach und bestimmt aussprechbares Resultat zu erhalten.

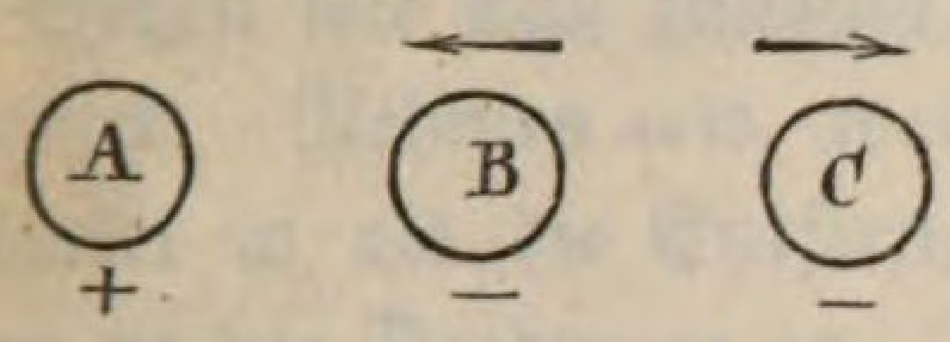
In Beziehung auf Unklarheit der Darstellung könnte sich Knochenhauer mit dem Beispiel anderer Physiker entschuldigen, deren Namen in der Wissenschaft hochgefeiert sind; namentlich könnte er sich auf Faraday berufen, dessen theoretische Betrachtungen allerdings an großer Unklarheit leiden; aber ganz abgesehen davon, daß die Berufung auf die Fehler anderer gewiß keine zulässige Rechtfertigung bietet, ist doch auch zu bedenken, daß Faraday seinen Ruf, seine Bedeutung für die Wissenschaft gewiß nicht durch seine nebelhaft gehaltenen theoretischen Betrachtungen über die Natur der elektrischen Kräfte, sondern der Entdeckung so zahlreicher wichtiger Thatsachen verdankt. Faraday ist ein genialer Forscher, ein unermüdlicher und glücklicher Experimentator, aber durchaus kein klarer Theoretiker. Die Unklarheit der Darstellung, da wo er theoretische Ansichten bespricht, kann man ihm schon zu Gute halten, weil er uns in seinen Abhandlungen eine solche Fülle der wichtigsten Thatsachen bietet.

Knochenhauer scheint das eigenthümliche Unglück zu haben, Verwirrung in allen Fragen anzurichten, die er behandelt. Nachdem Rieß so klar gezeigt hattte, daß man der gebundenen Elektricität durchaus keine besonderen Eigenschaften vindiciren könne, bringt er doch wieder Versuche vor, welche die Sache abermals in Zweifel ziehen sollen; Fechner beweist ihm die Unzulänglichkeit seiner Versuche, Knochenhauer gesteht sie ein, läßt sich aber nicht abhalten, denselben von neuem zu begehen und auf ungenaue Versuche gestützt, ein Gesetz über die Abnahme der Quantität der gebundenen Elektricität bei zunehmender Entfernung vom bindenden Körper zu publiciren, welches Allem, was wir von Bindung und Wirkung in der Ferne wissen, schnurstracks widerspricht, also alle unsere Fundamentalbegriffe über statische Elektricität wieder in Frage stellt. Der Versuch mit den drei Leitern, dessen in der oben abgedruckten Einleitung zu der Knochenhauer'schen Abhandlung Erwähnung geschieht, scheint

besonders seine Zweifel erregt zu haben; wir wollen diesen Versuch etwas näher betrachten.

Drei Leiter A, B und C Fig. 28 seyen in gerader Linie aufgestellt. Ist A isolirt und mit $+E$ geladen, während B und C nicht isolirt sind, so werden sich B und C mit gebundener $-E$ laden; sind nun B und C beweglich, so bewegt sich B gegen A hin, C von A weg, wie es die Pfeile der Figur andeuten. Nun sagt Knochenhauer, da die $+E$ des Leiters A noch $-E$ auf C binden kann, da also die bindende Wirkung, die A auf C ausübt, diejenige von B auf C übertrifft, welche letztere C mit $+E$ zu laden strebt, wie kommt es denn, daß C nicht auch stärker von A angezogen, als von B abgestoßen wird? — Wenn A stärker bindend auf C wirkt als B, so sollte auch die von A ausgehende Anziehung überwiegen, wenn anziehende Kraft und Bindung mit wachsender Entfernung nach gleichen Gesetzen abnehmen.

Fig. 28.



Was soll man nun von diesem Versuche halten? Es fehlen durchaus alle näheren Angaben über die Art und Weise, wie er anzustellen ist; es ist nicht gesagt, wie groß die Leiter A, B und C, es ist nicht gesagt, in welchen Entfernungen sie aufgestellt sind, kurz es fehlen alle Angaben, aus denen man einen Schluß auf die Bedeutung dieses Versuchs ziehen könnte; ja es hat fast den Anschein, als habe Knochenhauer einen solchen Versuch, von dem er, wie von einer bekannten Thatsache spricht, gar nicht angestellt.

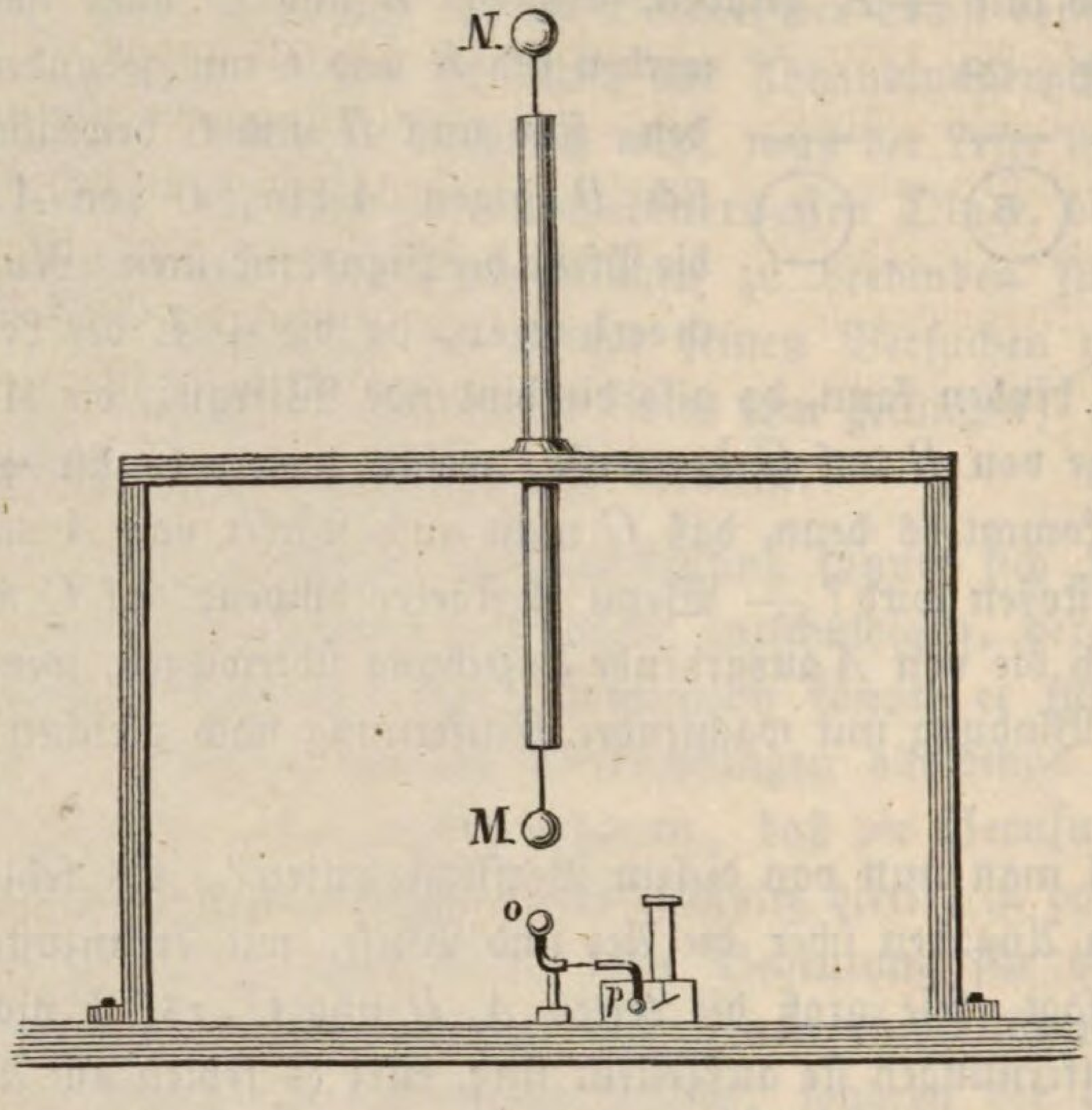
Gehen wir nun zu den Versuchen über, durch welche Knochenhauer das Verhältniß der Menge der gebundenen Elektricität zur Entfernung vom bindenden Körper zu ermitteln sucht.

Das Meßinstrument, welches er zu diesem Zwecke anwendet, ist eine Coulomb'sche Drehwage. Diese Drehwage steht in einem Rahmen, Fig. 29 (a. f. S.), welcher 2′ hoch und 3′ breit ist. Durch die Mitte des oberen Balkens geht eine Glasröhre, in der ein Draht befestigt ist, der unten M, oben N trägt. M steht gerade über O, N ist mit der inneren Belegung einer Leidner Flasche in Verbindung. Der gebogene Leitungsdraht, welcher o und p mit einander verbindet, ist mit Schellak überzogen und ruht auf einem Fuß von Schwefel. Nur an einer Stelle ist dieser Draht frei von Schellack, so daß man ihn hier mit dem Boden in leitende Verbindung setzen kann.

Die Versuche wurden nun folgender Weise angestellt. Dem Faden wurde zunächst eine Torsion von 5 Umdrehungen gegeben, und der Verbindungsdraht von o und p mit dem Boden in leitende Verbindung ge-

setzt. Nun wurde die Flasche mit einer bestimmten Quantität E geladen, dadurch verbreitete sich eine bestimmte Quantität E auf M, die eine be-

Fig. 29.



stimmte Quantität E auf o bindet. Diese auf o gebundene E wird aber frei, wenn die Flasche und mit ihr M entladen wird, nachdem man die leitende Verbindung zwischen o und dem Boden aufgehoben hat; die frei gewordene E verbreitet sich auch nach p, und bewirkt eine Drehung des beweglichen Balkens in der Drehwage, deren Größe von der Stärke der Ladung abhängt. Derselbe Versuch wurde bei verschiedenen Entfernungen zwischen M und o wiederholt und immer die entsprechenden Ablenkungen der Drehwage beobachtet, aus denen dann Knochenhauer auf die Stärke der Ladung, also auch auf die Quantität der durch M auf o gebundenen Elektricität schließen zu können glaubt.

Folgendes sind die Resultate einer solchen Beobachtungsreihe.

d	x
1	33° 8′
4	23° 55′
9	16° 22′
16	10° 22′

d bezeichnet hier die Entfernung der Kugeln o und M, wobei 3 Pariser Linien als Einheit genommen sind.

Aus vielen solchen Versuchsreihen leitet **Knochenhauer** für die Quantität J die in einer Entfernung d gebunden wird, die Formel

$$J = (0{,}70736)^{\sqrt{d}}\, E$$

ab, wo sich E von einer Versuchsreihe zur andern ändert.

Sehen wir nun zunächst, wie diese Formel mit obiger Versuchsreihe harmonirt. Nehmen wir, was ohne merklichen Fehler geschehen kann, den Winkel x als die Entfernung zwischen den beiden sich abstoßenden Körpern in der Drehwage an. Ist nun J die Intensität der Elektricität auf der Kugel p und auf der Kugel des beweglichen Hebels, so ist ihre gegenseitige Abstoßung $\frac{J^2}{x^2}$, und diese hält der Torsion des Fadens das Gleichgewicht, es ist also

$$\frac{J^2}{x^2} = t$$

mithin

$$J = x\sqrt{t}$$

d. h. die Intensität der elektrischen Ladung ist dem Ablenkungswinkel proportional, folglich muß auch

$$x = (0{,}70736)^{\sqrt{d}}\, N$$

seyn und damit stimmt obige Versuchsreihe in der That ziemlich gut überein. Für $d = 1$ haben wir nämlich $x = 33{,}133^0$, es ist also

$$33{,}133 = 0{,}70736 . N$$

und daraus

$$N = 47{,}33$$

es ergiebt sich demnach ferner

$$\text{für } d = 4,\ x = 47{,}33\ (0{,}70736)^{\sqrt{4}} = 23^0, \ldots$$

$$d = 9,\ x = 47{,}33\ (0{,}70736)^{\sqrt{9}} = 16^0, \ldots$$

$$d = 16,\ x = 47{,}33\ (0{,}707..)^{\sqrt{16}} = 11^0, \ldots .$$

Diese Versuchsreihe, und so auch die andern scheinen also wirklich dieses merkwürdige Gesetz

$$J = E\ (0{,}70736)^{\sqrt{d}}$$

zu bestätigen, welches sich gar nicht recht in Worten will ausdrücken lassen, und welches mit den gewöhnlichen Ansichten über elektrische Bindung allerdings nicht in Uebereinstimmung zu bringen ist. Diese Versuchsreihen aber bieten mir doch nicht genug Garantie, um darauf hin ein so sonderbares, allen unseren Vorstellungen über das Wesen der Bindung so schnurstracks widersprechendes Gesetz anzunehmen.

Wollte man die Knochenhauer'schen Versuche einer strengen Kritik unterwerfen, so würde man eine Menge Umstände herausfinden, welche geeignet sind, Zweifel gegen die Genauigkeit der Resultate zu erwecken. Da ich weiter unten nachweisen werde, wodurch Knochenhauer durchaus falsche Resultate erhalten mußte, so will ich hier die untergeordneten Fehler, welche blos der Genauigkeit Eintrag thun, bis auf folgenden Punkt übergehen.

Bei den meisten Versuchen betrug der Durchmesser der Kugel M 9 Linien, der Durchmesser der Kugel o aber 4'''; wenn nun die Kugeln 3''' von einander abstanden, so darf man doch 3''' gewiß nicht für die Distanz der Anziehungsmittelpunkte annehmen. Hier ist ganz gewiß die Entfernung der beiden Kugeln viel zu klein im Vergleich zu ihren Dimensionen, als daß es erlaubt wäre, aus solchen Versuchen einen Schluß auf die Abnahme der Bindung bei wachsender Entfernung zu machen. Das Gesetz, daß die elektrische Anziehung und Abstoßung im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernung stehe, setzt voraus, daß die Entfernung der auf einander wirkenden Körper groß genug sey, um ohne merklichen Fehler die anziehende oder abstoßende Wirkung in ihrem Mittelpunkte vereinigt zu denken. Knochenhauer legt seiner Betrachtung stillschweigend die Voraussetzung unter, daß die Kugeln so auf einander wirkten, als ob alle Elektricität der Kugel M in ihrem untersten alle gebundene Elektricität der Kugel O in ihrem obersten Punkte vereinigt wäre, was sicherlich nicht zugegeben werden kann.

Knochenhauer verfällt hier in denselben Fehler, welchen Rieß mit Recht an einer Arbeit von Snow Harris rügt, indem er sagt: »so sucht z. B. der unermüdliche Experimentator Snow Harris allgemein gültige Zahlenverhältnisse zwischen der Wirkung eines statisch electrisirten Leiters auf einen neutralen, und der Entfernung der nächsten Fläche der Leiter (Phil. Transact. f. 1834). Vor solchen Fehlgriffen hätten Coulombs und Prissons Arbeiten bewahren müssen.«

Bei den Knochenhauer'schen Versuchen haben Umstände störend eingewirkt, welche seine Resultate durchaus falsch machten, und welche veranlaßten, daß er die Quantität der gebundenen Electricität bei wachsender Entfernung von dem bindenden Körper viel zu langsam abnehmend fand.

Er selbst führt eine Beobachtungsreihe an, die wohl geeignet gewesen wäre, ihm Mißtrauen gegen seine Beobachtungsweise zu erregen. Bei etwas starker Ladung der Flasche fand er nämlich folgende zusammengehörige Werthe von d und x

d	x
1	40°
2	vollständiges Umschlagen der Nadel
3	43
4	41,5

also bei größeren Entfernungen stärkere Wirkungen. Diese Beobachtungsreihe war freilich nicht zu gebrauchen. Die Umstände, welche hier für kleine Entfernungen die Wirkung offenbar zu klein machen, und zwar so, daß die Unbrauchbarkeit des Versuchs in die Augen springt, wirken aber auch sicherlich bei allen anderen Versuchsreihen, nur nicht in dem Maaße wie bei den zuletzt angeführten, d. h. noch nicht so stark, daß für größere *d* sogar ein stärkere Wirkung erfolgt. Sollten die störenden Einflüsse, die bei einer etwas stärkeren Ladung im Extrem auftreten, bei etwas schwächeren Ladungen ganz fehlen?

Experimenteller Beweis, daß die Quantität der gebundenen Elektricität sich umgekehrt verhält, wie das Quadrat der Entfernung vom bindenden Körper. Um die Knochenhauer'schen Einwendungen definitiv zu widerlegen, habe ich selbst eine Reihe von Versuchen über das Gesetz angestellt, nach welchen die Stärke der Bindung abnimmt, wenn die Entfernung der auf einander bindenden Körper wächst. 19

Die Beobachtungsmethode war im Wesentlichen dieselbe, wie die von Knochenhauer angewandte, nur substituirte ich für die Drehwage ein Strohhalmelektrometer, welches mit einem Gradbogen versehen war. Zunächst war zu untersuchen, in welchem Verhältniß die Zunahme der Ladung mit der Zunahme der Divergenz der Pendel steht, um später aus den Divergenzen auf die Größe der elektrischen Kräfte schließen zu können, welche dieselben hervorbringen. Dies geschah auf folgende Weise.

Eine große Leidner Flasche (sie hatte ungefähr 2□' innere Belegung) wurde mit positiver Elektricität geladen: der Knopf dieser Flasche konnte als eine ziemlich constante Quelle von Elektricität betrachtet werden, von der man leicht immer dieselbe kleine Quantität nehmen und auf das Electrometer übertragen kann. Diese Uebertragung geschah mittelst einer Messingkugel von ungefähr 3''' Durchmesser, die durch einen hinlänglich langen Siegellackstiel isolirt war. Es wurde diese kleine Kugel mit der Kugel der Leidner Flasche in Berührung gebracht und dadurch mit einer bestimmten Menge von Elektricität geladen, die wir mit 1 bezeichnen wollen. Diese Quantität 1 wurde nun dadurch auf das Elektrometer übertragen, daß man die Platte desselben mit der geladenen Kugel berührte; die Pendel

divergirten und da die Elektricitätsmenge 1 entsprechende Divergenz wurde abgelesen.

Nun wurde die kleine Kugel abermals mit der Kugel der Flasche in Berührung gebracht und dieselbe Elektricitätsmenge abermals auf den Elektrometer übertragen, dessen Divergenz dadurch eine entsprechende Zunahme erhielt. Auf solche Weise wurde nun die Ladung des Electrometers stets um dieselbe Elektricitätsmenge vermehrt und stets die entsprechende Divergenz des Pendels beobachtet.

Die Steigerung der Ladung wurde bis zu den Quantitäten 7, 8 oder 9 fortgesetzt, darauf der Elektrometer entladen und dieselbe Versuchsreihe wiederholt.

Daß während der ganzen Versuchszeit die Stärke der elektrischen Ladung der Flasche nicht merklich abnahm, geht aus den in der folgenden Tabelle verzeichneten Zahlen hervor, welche die Resultate von 8 Versuchsreihen enthält.

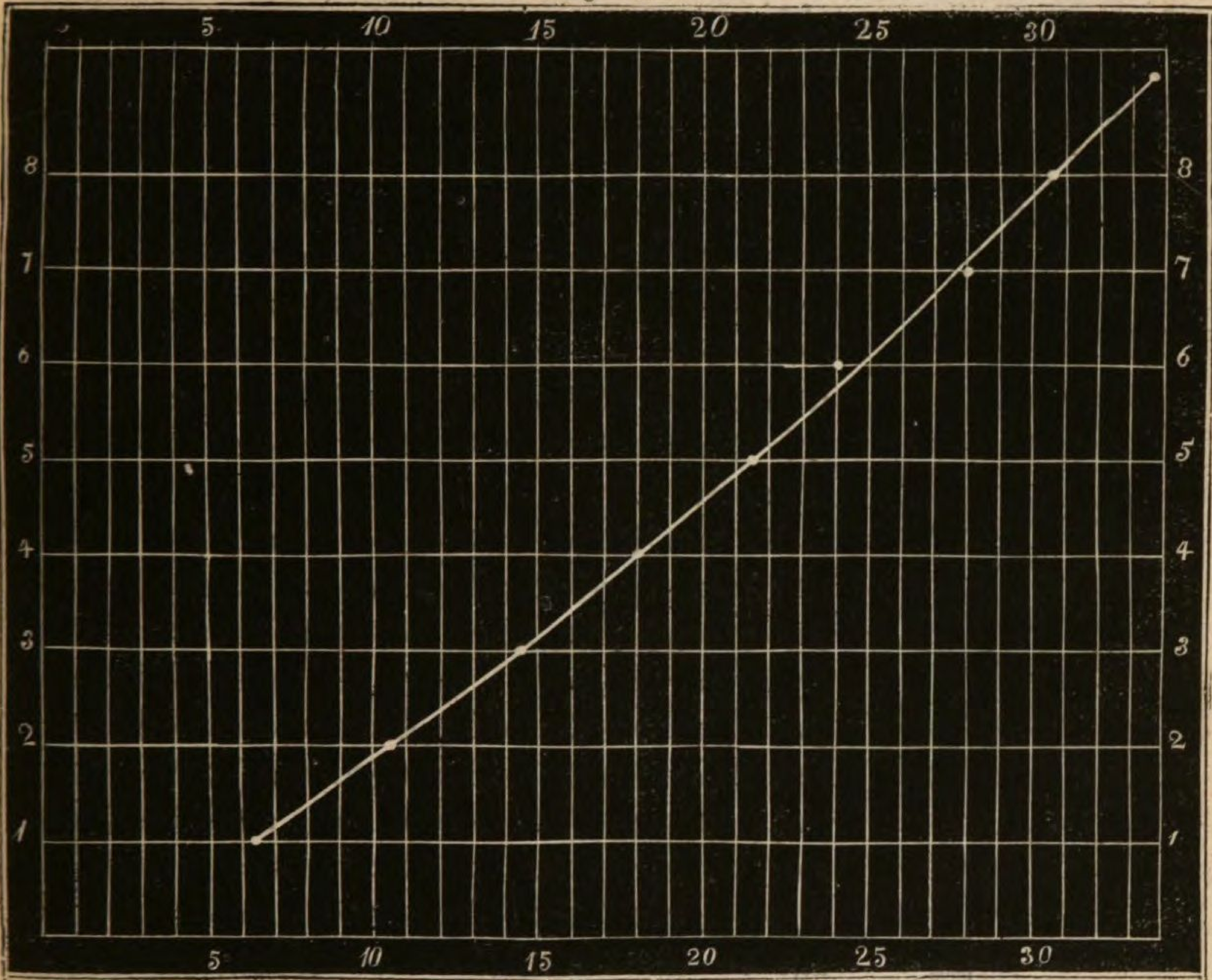
E	*d*	*d*	*d*	*d*	*d*	*d*	*d*	*d*	Mittel
1	6°	7°	7°	7°	7°	6°	5,5°	6°	6,4
2	10	11	11	9	11	10	10	11	10,3
3	15	15	15	15	14,5	16	14	15	14,6
4	18,5	18	19	18	18	19	17,5	19	18
5	22	22	22	21	21,5	22	21,5	22	21,4
6	24,5	25	25	24	24,5	—	23	23	24
7	28	28	28	27	27	—	28,5	28,5	28
8	—	30	32	30	30	—	31,5	31	30,7
9	—	—	—	—	—	—	33,5	34	33,7

Die erste Vertikalreihe enthält die Elektricitätsmengen, welche auf den Elektrometer übertragen worden sind, jede der folgenden 8 Vertikalreihen enthält die entsprechenden Divergenzen, wie sie bei 8 auf einander folgenden Versuchsreihen gefunden wurden, die letzte Kolumne enthält das Mittel der für jede Elektricitätsmenge gefundenen Divergenzen.

Statt den Zusammenhang zwischen der Elektricitätsmenge, mit welcher der Elektrometer geladen ist und die Divergenz des Pendels durch complicirte Formeln auszudrücken, habe ich versucht, ihn durch graphische Darstellung anschaulich zu machen. In Fig. 30. sind die Ordinaten der Elektritätsmengen, die Abscissen der Divergenzen proportional, und zwar sind die stark markirten Punkte diejenigen, welche den zu den verschiedenen, links

an der Figur beigeschriebenen Elektricitätsmengen gehörigen mittleren Divergenzen entsprechen.

Fig. 30.



Diese Punkte lassen sich in der That, wie es auch in der Figur geschehen ist, durch eine ganz regelmäßige Kurve verbinden, welche den Zusammenhang zwischen Elektricitätsmenge und der Divergenz darstellt, wenn nur die Punkte, welche der Elektricitätsmenge 6 und 7 angehören, etwas neben der Kurve liegen bleiben.

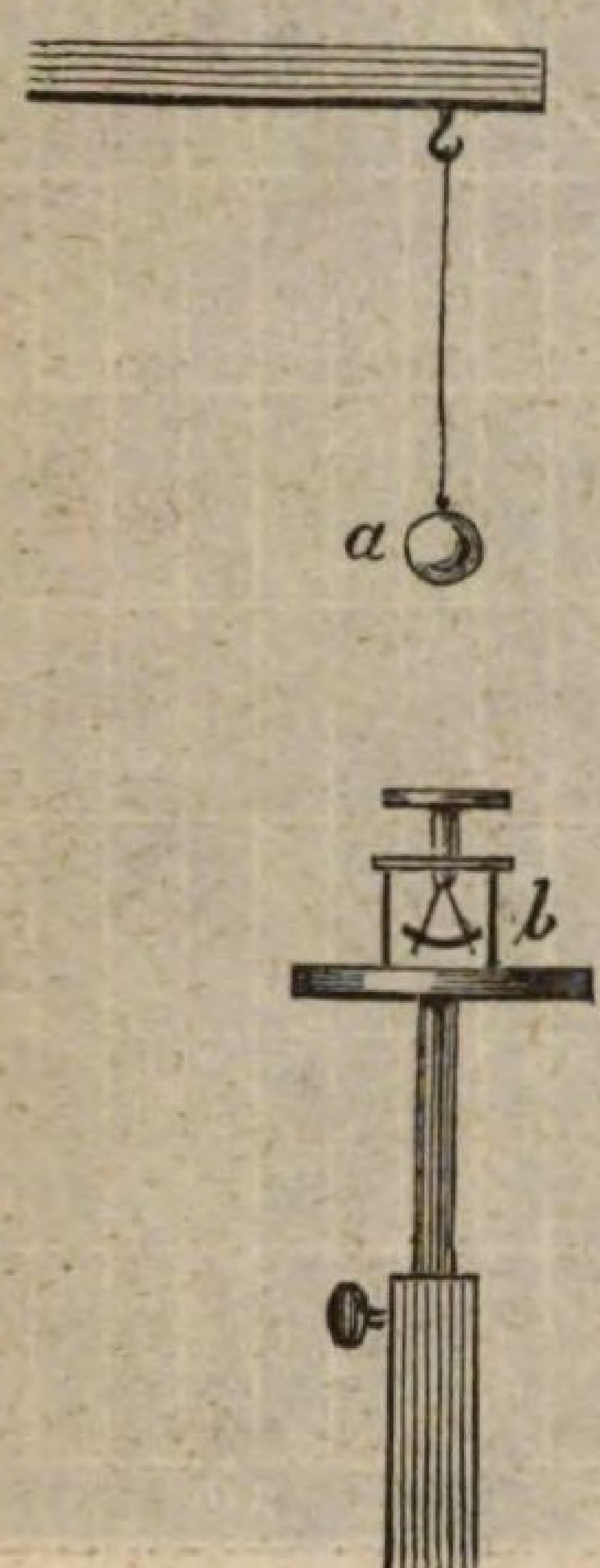
Die Ablesungen, aus welchen diese Resultate gezogen wurden, sind freilich immer nur bis auf halbe Grade genau gemacht worden; eine größere Genauigkeit in der Ablesung der einzelnen Beobachtung ist aber auch durchaus nicht nöthig, da die Resultate durch verschiedene Ursachen doch um mehr als $^1/_2$ unsicher werden, und die einzelnen Ablesungen für dieselbe Elektricitätsmenge manchmal um 2 Grad verschieden ausgefallen sind. — Knochenhauer giebt bei seinen Beobachtungen freilich sogar einzelne Minuten an, obgleich die Unsicherheit der Beobachtungen auf mehrere Grade geht; wie er an seinem so kleinen Instrumente einzelne Minuten ablesen konnte, wie es z. B. bei der auf Seite 44 angeführten Versuchsreihe der Fall ist, läßt sich schwer begreifen; wenn aber auch das Instru-

ment eine so genaue Ablesung wirklich erlaubt hätte, so war sie doch unnöthig, weil die Einstellung der Nadel bei weitem nicht bis zu jenem Grade sicher ist. Man sollte bei solchen Angaben keine größere Genauigkeit affectiren, als sie die Umstände wirklich zulassen.

Nachdem das Strohhalm=Elektrometer auf die angegebene Weise geprüft war, konnte ich zu den entscheidenden Versuchen selbst übergehen, die auf folgende Weise angeordnet waren.

An einer seidenen, wohl isolirenden Schnur war eine hohle Messingkugel von 2 Zoll Durchmesser aufgehängt. Genau unter derselben stand das Elektrometer auf einer Platte, deren Stiel beliebig auf= und abgeschoben, und in jeder beliebigen Stellung festgestellt werden konnte. Die Messingplatte des Elektrometers hatte 18‴ Durchmesser.

Fig. 31.



An dem Stabe, welcher die Platte des Statifs trug, waren drei Striche in einem Abstande von 3 Zollen angebracht. Wenn der unterste dieser Striche gerade an dem oberen Ende des hohlen Fußes einstand, war die Platte des Elektrometers 3 Zoll von dem Mittelpunkte der Kugel entfernt; diese Entfernung betrug 6 Zoll oder 9 Zoll, wenn der zweite oder der oberste der drei Striche eben so einstand. Nehmen wir 3 Zoll zur Einheit, so befand sich also die Elektrometerplatte einmal in der Entfernung 1, dann in der Entfernung 2, endlich in der Entfernung 3.

Als die Platte des Elektrometers in der Entfernung 3 von der Kugel stand, wurde nun diese Platte ableitend mit dem Finger berührt, und die Kugel *a* dadurch geladen, daß sie mit der Kugel einer kleinen geladenen Flasche in Berührung gebracht wurde.

War auf diese Weise die Kugel geladen, so wurde die Flasche rasch auf Seite gestellt.

Die Elektricität auf *a* mußte nun eine bestimmte Quantität entgegengesetzter *E* auf *b* binden, die alsbald meßbar wurde, wenn man den Finger von *b* zurückzog und sogleich die Kugel *a* mit der Hand faßte und auf Seite schob. — Es ergab sich eine Ablenkung von 6°.

Nun wurde die Platte des Statifs um 3 Zoll höher gestellt, so daß jetzt die Entfernung zwischen *b* und dem Mittelpunkte von *a* gleich 2, also 2 $\times$ 3 Zoll, war, und der Versuch auf dieselbe Weise wiederholt, wobei dieselbe Flasche mit der nämlichen Ladung angewandt wurde. Es ergab sich die Divergenz 12°.

Derselbe Versuch in der Entfernung 1 wiederholt, gab die Divergenz 30,5°.

Jetzt wurde der Elektrometer der Reihe nach in die Entfernung 2, 3, 2, 1, 2, 3 u. s. w. gebracht und immer derselbe Versuch angestellt. Die Resultate der Beobachtungen sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

											Mittel.
1	30,5		31,5		30		31		30		30,6
2	12	12	12,5	10	12	11	10,5	11,5	11	11,5	11,4
3	6	6		5,5		6			7	6	6,2

Bei gleicher Ladung der Kugel *a* erhielt man also im Mittel die Divergenz 30,6° für die Entfernung 1; die Divergenz 11,4° für die Entfernung 2, und endlich die Divergenz 6,2° für die Entfernung 3.

Die gleiche Ladung der Kugel *a* wurde dadurch erhalten, daß sie immer mit der Kugel derselben für die ganze Versuchsreihe ein für allemal geladenen Leidener Flasche berührt wurde. Allerdings wurde die Ladung der Flasche bei jeder Berührung mit der Kugel etwas vermindert, doch ist diese Verminderung nach zwanzigmaliger Berührung noch unmerklich, wie man aus obiger Tabelle ersieht.

Sehen wir nun, wie groß die elektrischen Ladungen sind, welche an unserm Elektrometer die Divergenzen 30,6 — 11,4 — und 6,2 geben.

Aus Betrachtung der Fig. 30 ergiebt sich, daß die Divergenz 30,6 der elektrischen Quantität 8; die Divergenz 11,4 der elektrischen Quantität 2,25 und 6,2 der Quantität 0,95 entspricht. Die Quantität der Elektricität, welche die Kugel *a* auf *b* bindet, ist also

für die Entfernung 1 gleich 8
» » » 2 » 2,25
» » » 3 » 0,95

Die Zahlen 0,95 — 2,25 und 8 verhalten sich in der That sehr nahe wie 1, — 4 und 9, also umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung. Nur für die Entfernung 1 ist die abgelesene Divergenz etwas zu klein, was sich aber leicht erklären läßt; bei so starker Ladung des Elektrometers, welche eine Divergenz von 30 in mehreren Graden hervorbringt, sinken die Pendel wegen des stärkeren Verlustes rascher zusammen, bis man also zum Ablesen kommt, hat sich die ursprüngliche Divergenz schon etwas vermindert.

Eine ähnliche Versuchsreihe, wobei bloß zwischen der einfachen und doppelten Entfernung gewechselt wurde (als Einheit der Entfernung war hierbei 4″ genommen worden), gab folgende Resultate:

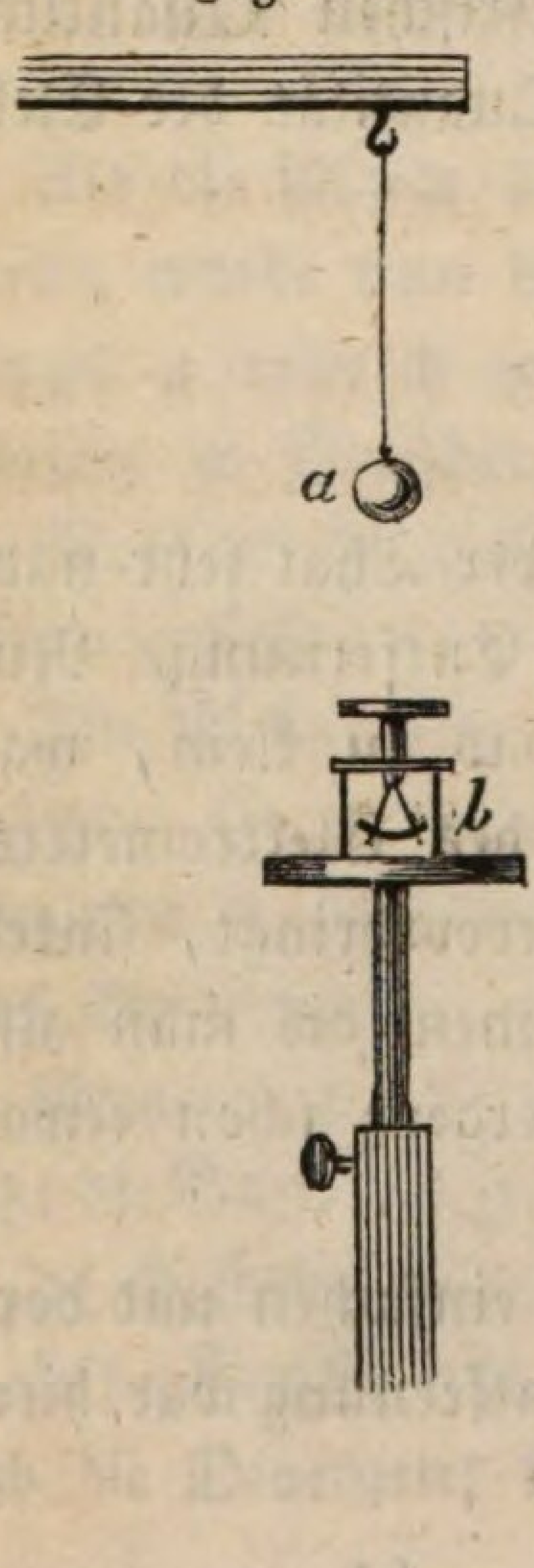
					Mittel.
1	26	24	24,5	24	24,6
2	9	9	8,5	9	8,87

Die Divergenzen 24,6 und 8,87 entsprechen den Elektricitätsmengen 6 und 1,6, die sich ebenfalls sehr nahe verhalten, wie 4 zu 1; also auch hier für die doppelte Entfernung eine viermal geringere Menge der gebundenen Elektricität.

Ich sollte denken, daß diese Versuche genügen, um den Satz außer Zweifel zu setzen, daß die Menge der Elektricität, welche auf einem nicht isolirten Leiter durch einen benachbarten isolirten und elektrisch geladenen gebunden wird, sich umgekehrt verhält, wie das Quadrat der Entfernung der beiden Leiter, vorausgesetzt, daß die Dimensionen derselben und ihre Entfernung von der Art sind, daß man die elektrischen Kräfte ohne bedeutende Fehler als in ihrem Schwerpunkte concentrirt annehmen kann.

Bei den Knochenhauer'schen Versuchen war die Entfernung zwischen dem bindenden Körper und demjenigen, auf welchen die entgegengesetzte Elektricität gebunden wird, viel kleiner, als bei meinen Versuchen; bei ihm war die kleinste Entfernung 3 Linien, bei mir 3 Zoll. — Dies brachte mich auf den Gedanken, es möchte wohl bei Knochenhauer's Versuchen Elektricität übergegangen seyn. Um zu untersuchen, ob dies wirklich der Fall gewesen seyn konnte, machte ich die Entfernung zwischen der Kugel *a* und der Elektrometerplatte im Lichten 3''' und ließ dann den Elektrometer so weit herunter, daß die Entfernung der Platte von dem Mittelpunkte der Kugel doppelt so groß wurde, als bei der ersten Stellung. Auch hier ergab sich in der doppelten Entfernung eine ungefähr viermal kleinere Wirkung, hier war also keine Elektricität von der Kugel zur Platte übergegangen.

Fig. 32.



Die Kugel war aber ziemlich groß, die Platte ein Stück einer unendlich großen Kugel; die Kugel *a* war überdies noch gefirnißt, lauter Umstände, die dem Uebergange der Elektricität weit weniger günstig waren, als bei Knochenhauer.

Ich vertauschte nun die Kugel *a* mit einer andern nicht gefirnißten, die nur 8''' Durchmesser hatte; die Platte des Elektrometers wurde abgeschraubt und durch eine Kugel von ungefähr 4 Linien Durchmesser ersetzt.

Als die Entfernung zwischen beiden Kugeln 12 Linien (also die Entfernung des Mittelpunktes 18 Linien) betrug, erhielt ich bei Wiederholung des Versuchs in oben angegebener Weise, bei einer Ladung, die natürlich bedeutend schwächer seyn mußte, als bei den frühern Versuchen, eine Divergenz von 8 bis 10 Grad; als aber der Elektrometer so weit genähert wurde, daß die Entfernung im Lichten nur noch 3''' Linien betrug, die Entfernung des Mittelpunktes also nur halb so groß war als bei der ersten Stellung, ergab sich bei gleicher Ladung der kleinen Kugel *a* nicht etwa eine nahezu viermal stärkere Divergenz der Pendel, sondern ebenfalls nur eine Divergenz von 10°.

Hier war nun offenbar Elektricität zwischen den Kugeln übergegangen und dadurch die Ladung der oberen Kugel sowohl als auch die Menge der gebundenen Elektricität auf die untere bedeutend vermindert worden.

Es unterliegt wohl keinem Zweifel, daß gerade dieser Umstand auch bei den Knochenhauer'schen Versuchen störend wirkte und seine Resultate durchaus unbrauchbar machte.

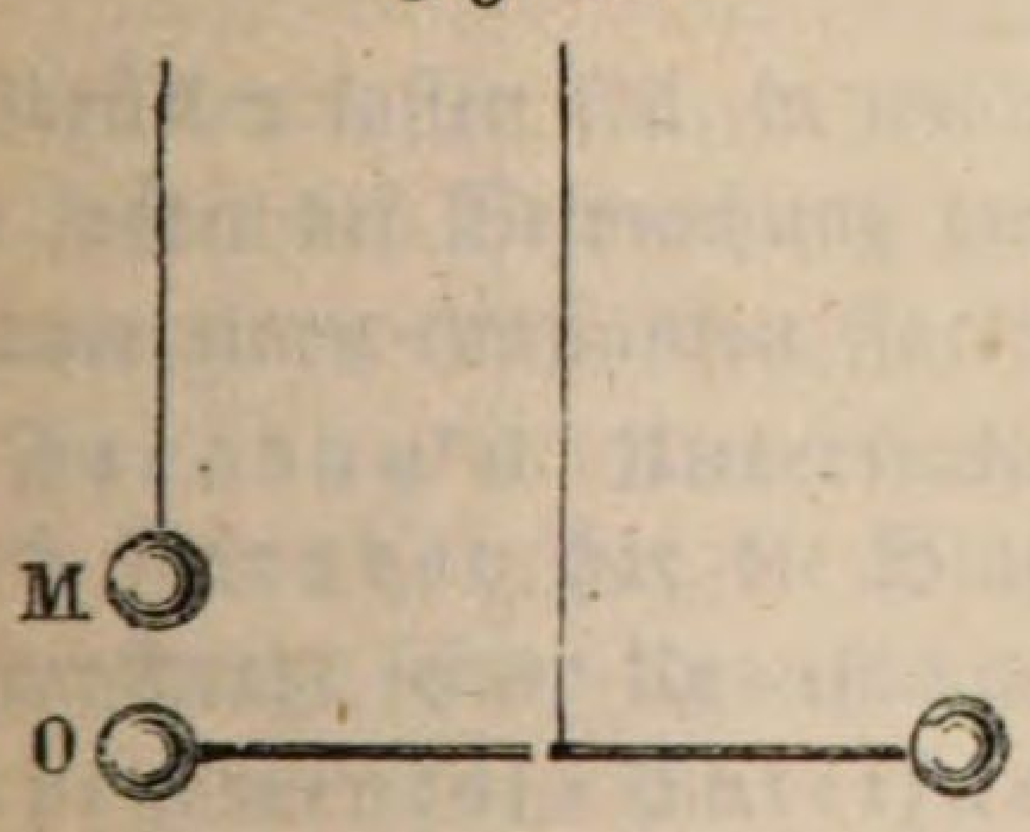
Knochenhauer's weitere Versuche über gebundene Elektricität. 20
Nach dieser Beleuchtung der Knochenhauer'schen Gesetze über die Quantität der gebundenen Elektricität wird es wohl erlaubt seyn, über den Rest der erwähnten Abhandlung nur ganz kurz zu referiren; Knochenhauer führt im Verlaufe derselben noch folgende Sätze als Resultate seiner Versuche an.

1) Wenn bei unveränderter Entfernung eines isolirten geladenen Leiters *a* und eines nicht geladenen *b*, die Ladung von *a* zwei-, drei-, viermal so groß wird, so wird die auf *b* gebundene Elektricität ebenfalls zwei-, drei-, viermal so groß seyn.

Gegen dies Resultat, welches sich wohl von selbst versteht, ist nichts einzuwenden.

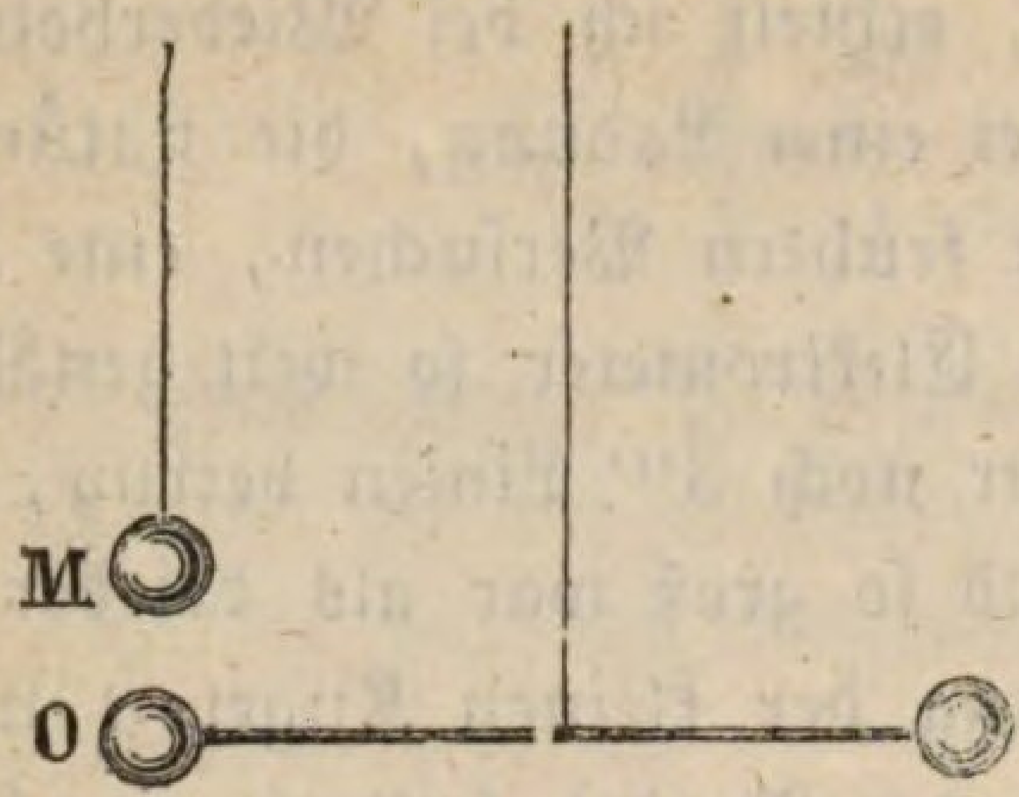
2) In Beziehung auf die Anziehung einer Kugel mit gebundener Elektricität in verschiedener Entfernung kommt Knochenhauer zu folgendem Resultat.

Fig. 33.



Wenn *M* eine mit der Innenseite der Batterie verbundene Metallkugel ist, wenn ferner die Kugel *O*, welche das eine Ende eines an einem isolirenden Faden hängenden Metallstäbchens bildet, vertikal unter *M* hängt, so wird in *O* Elektricität gebunden, wenn die Batterie also auch *M* geladen wird. Ist das Metallstäbchen mit dem Boden oder der äußeren Belegung der Flasche in leitender Verbindung, so wird die Elektricität auf *O* bei

Fig. 34.



steigender Ladung von M endlich so zu nehmen, daß O gehoben wird, wozu stets eine bestimmte Größe der anziehenden Kraft zwischen M und O nöthig ist. Wenn nun bei einer bestimmten Entfernung zwischen M und O eine bestimmte Ladung nöthig ist, um die Hebung von O zu bewerkstelligen, so soll bei doppelter, dreifacher, vierfacher Entfernung zwischen M und O auch eine zwei-, drei-, viermal so große Ladung von M nöthig seyn, um denselben Effect zu erhalten, oder mit andern Worten: Wenn die Stärke der Anziehung zwischen M und O unverändert bleiben soll, so muß die Ladung von M in demselben Maaße wachsen, wie die Entfernung zwischen M und O.

Dieser Satz ist eben so unwahrscheinlich, und möchte wohl auf eben so schwachen Füßen stehen, wie das Gesetz über die Quantität der gebundenen Elektricität, ich halte deshalb eine detaillirtere Besprechung für unnöthig.

3) In der Formel

$$J = N \,.\, b^{\sqrt{d}},$$

welche die Quantität der gebundenen Elektricität ausdrücken soll, nennt Knochenhauer den Factor b, welcher zur Potenz $\sqrt{d}$ erhoben werden soll, den Bindeexponenten, und findet, daß dieser Bindeexponent unverändert bleibt, mag nun zwischen M und O ein lufterfüllter oder ein luftleerer Raum seyn.

4) Wenn zwischen den Kugeln M und O ein verdünnter Raum ist, so schlagen die Funken schon bei geringerer Ladung über. Die folgende Tabelle zeigt, bei welchen Ladungen der Batterie (ausgedrückt in Funken der Lane'flasche) ein Ueberschlagen des Funkens stattfand, wenn die Luft zwischen den Kugeln allmälig verdünnt wurde.

B	J
27,4	41,85
24,4	37,75
21,4	33,45
18,4	29,05
15,4	25,10
12,4	20,80
9,4	16,60
6,4	12,20
3,4	8,05
1,9	5,20

Um die Luft zwischen den Kugeln verdünnen zu können, befanden sie sich natürlich im Innern eines Glasgefäßes, welches man evacuiren konnte. Die erste Columne unter B enthält die Spannkraft der Luft, gemessen durch eine Quecksilbersäule.

Die Zahlen dieser Tabelle harmoniren recht gut mit der Formel

$$J = y\,(x + B),$$

wo x und y zwei constante sind (sonst pflegt man mit x und y die variabeln Größen und nicht die constanten Factoren zu bezeichnen), wenn man $x = 2{,}41$ und $y = 1{,}406$ setzt.

Ein solches Gesetz wäre nun seiner Einfachheit wegen ganz annehmbar, spätere Versuchsreihen harmoniren aber nach Knochenhauer's Ansicht nicht so gut (obgleich die beobachteten und berechneten Werthe von J nie um ein Ganzes differiren, und die beobachteten Bruchtheile der Elektricitätsmengen, gemessen durch Funken der Lane'flasche, doch nicht sehr zuverlässig seyn können), so daß er sich veranlaßt sieht, eine neue Formel mit drei constanten

$$J = \frac{y\,(x + B)}{1 + Bz}\,Jn$$

zu construiren, in welchen Jn die Ladung bezeichnet, welche nöthig ist, um bei 28″ Barometerstand überzuschlagen und die sich den Beobachtungen besser anschließen soll.

5) Wenn in einem elektrischen Luftthermometer, ähnlich dem Rieß'schen, kein Draht ausgespannt ist, sondern wenn in demselben zwei Kugeln auf eine bestimmte Distanz einander gegenüberstehen, so wird, wenn ein Funken zwischen diesen Kugeln überschlägt, eine Depression der Flüssigkeit in der Röhre des Thermometers erfolgen, welche Knochenhauer als ein Maaß für die Quantität der durch die Funken verdrängten Luft ansieht und welche Quantität seinen Versuchen zufolge sich durch die Formel

$$x = A\,\frac{q^2}{s}$$

ausdrücken lassen soll, in welchem q und s dieselbe Bedeutung haben, die wir später bei Besprechung der Arbeiten von Rieß werden kennen lernen, A aber einen constanten Factor bezeichnet.

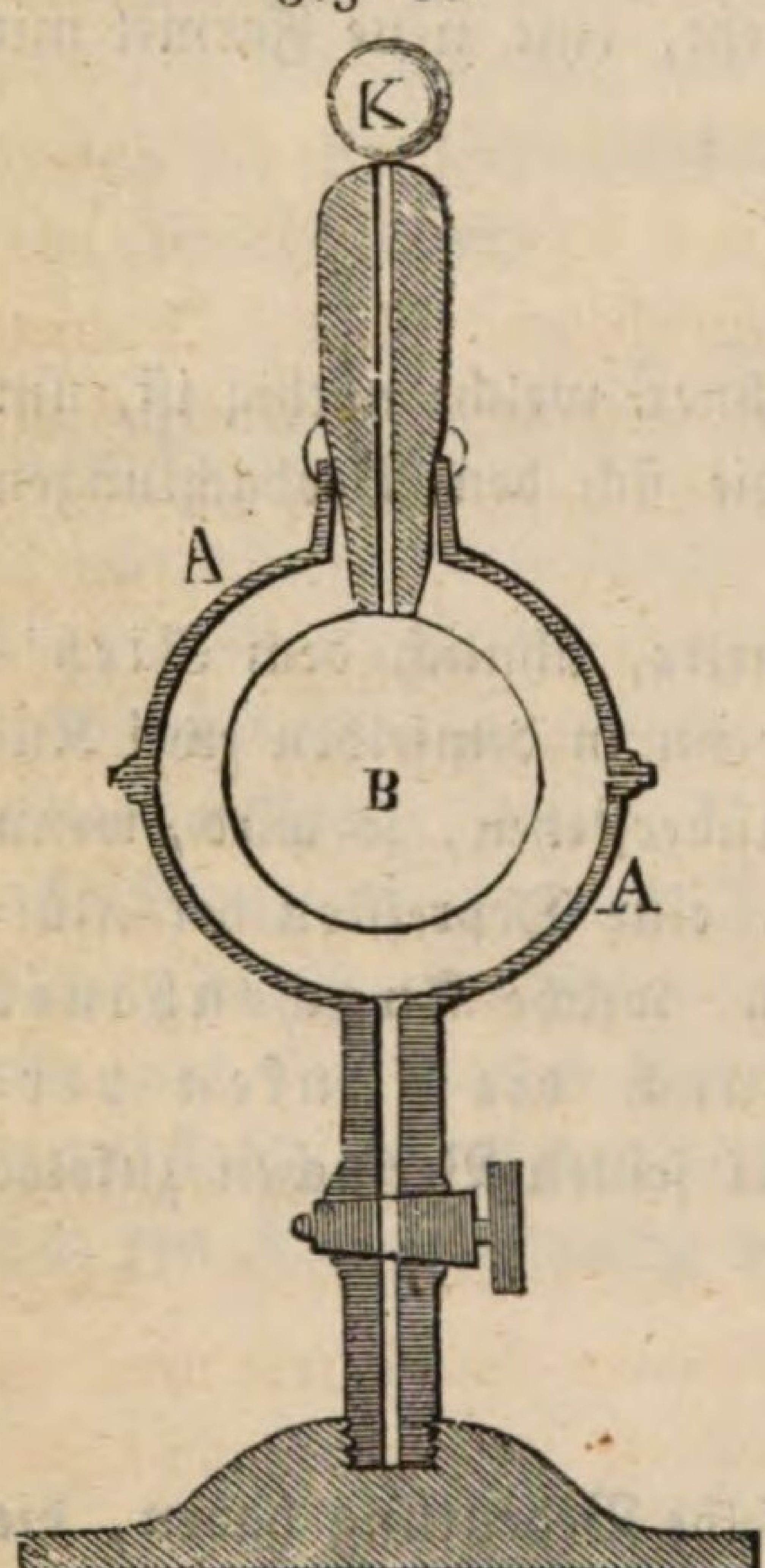
Faraday's Untersuchungen über gebundene Elektricität. 21
Auch Faraday hat die Bindung und Vertheilung der Elektricität zum Gegenstande seiner Untersuchungen gemacht. In seiner elften Reihe von Experimental-Untersuchungen über Elektricität (P. A. XLVI. 1) sucht er nachzuweisen, daß die Vertheilung nicht die Folge einer elektrischen Wirkung in die Ferne sey, sondern von dem bindenden Körper

aus durch Vermittlung der zwischenliegenden materiellen Theilchen bewerkstelligt werde.

Um zu beweisen, daß die Vertheilung das Resultat einer von Theilchen zu Theilchen des trennenden Isolators fortschreitende Wirkung sey, sucht Faraday darzuthun: 1) daß bei gleicher Entfernung des vertheilenden Körpers und desjenigen, auf welchem durch Vertheilung Elektricität erregt und gebunden ist, die Stärke der Vertheilung und Bindung noch von der Natur des trennenden Isolators abhängig sey, daß durch verschiedene Isolatoren hindurch die Bindung unter sonst gleichen Umständen nicht gleich sey, daß also jedem Isolator ein eigenthümliches, specifisches Vertheilungsvermögen zukomme; 2) daß die Vertheilung auch nach krummen Linien stattfinden könne.

22 **Specifisches Vertheilungsvermögen.** Betrachten wir zunächst das specifische Vertheilungsvermögen der Isolatoren.

Fig. 35.



In Fig. 35 stelle *A* eine metallene Hohlkugel dar, die auf einem metallenen Fuße steht. In einer oben angebrachten Oeffnung steckt dicht schließend ein Schellackcylinder, durch dessen Mitte ein Draht geht, der oben die kleine Metallkugel *K*, unten die Metallkugel *B* trägt. Der Durchmesser der Kugel *A* ist ungefähr 8,5 Centimeter, der der Kugel *B* ist 6 Centimeter. — Die Kugel *A* besteht aus zwei, den Magdeburger Halbkugeln ganz ähnlichen Stücken, so daß man die obere Hälfte sammt dem Schellackcylinder und den Kugeln *K* und *B* abheben kann.

Faraday brauchte zu seinen Versuchen zwei ganz gleiche Apparate der Art, die er Vertheilungsapparate nennt.

Man kann einen solchen Vertheilungsapparat laden, wie man eine Leidener Flasche ladet, wenn man *K* mit einer Elektricitätsquelle, *A* aber mit dem Boden in leitende Verbindung setzt. *B* repräsentirt alsdann die innere Belegung, *A* die äußere, die Luftschicht zwischen beiden ersetzt die Glasbelegung.

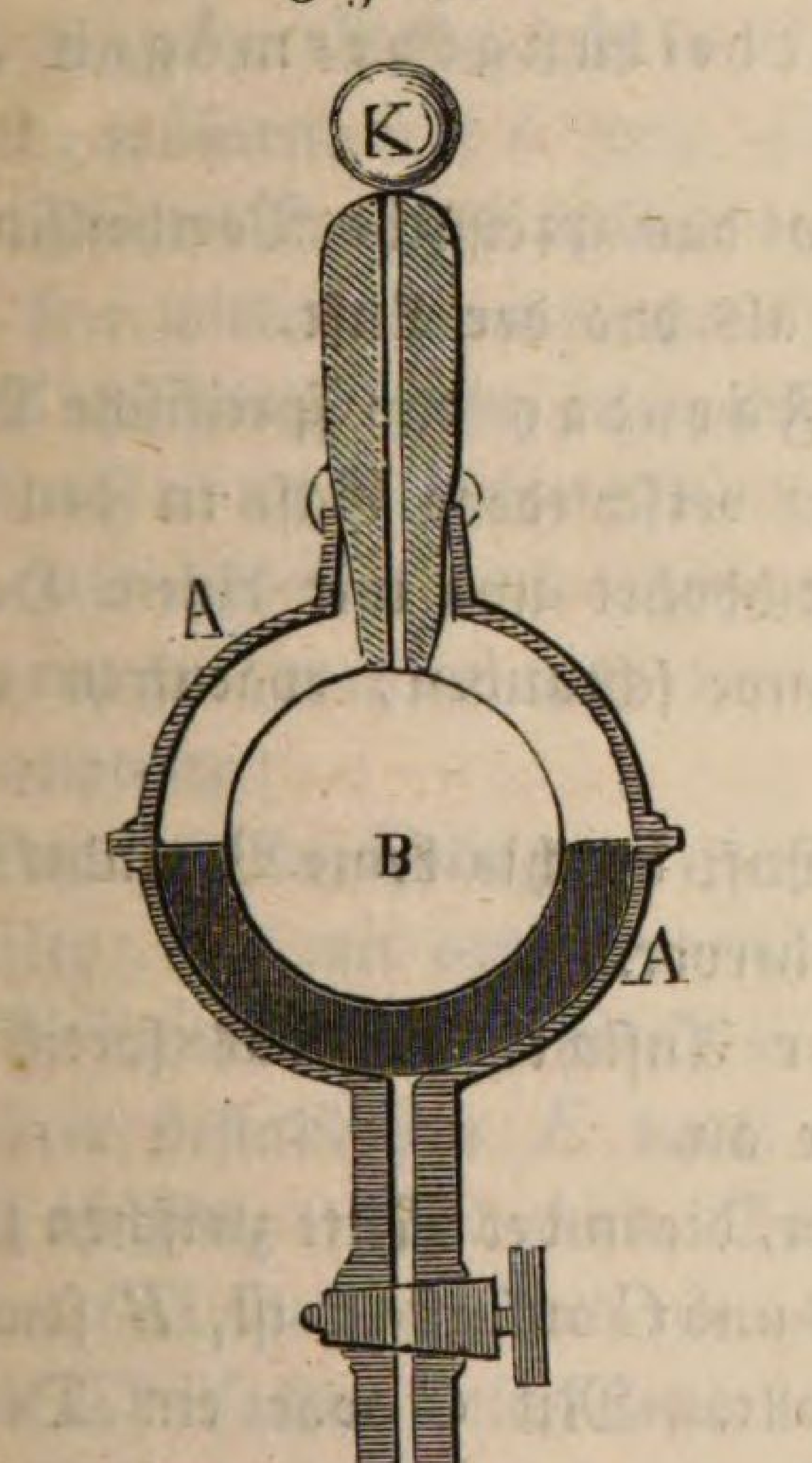
Ein solcher Vertheilungsapparat, den ich mit I bezeichnen will, wurde dadurch geladen, daß man *K* mit der Kugel einer geladenen Leidener Flasche berührt, während *A* gut abgeleitet war. Begreiflicherweise mußte, wie dies ja auch bei der inneren Belegung einer Leidener Flasche der Fall ist, auf *B* und *K* ein Ueberschuß freier Elektricität seyn, dessen Stärke an

einer Coulomb'schen Drehwage gemessen wurde. Um die Mittelpunkte der beiden Kugeln der Drehwage in einem Winkelabstande von 30° zu erhalten, war eine Torsion des Fadens von 250° nöthig.

Nun wurde mit dem Knopfe *K* des Vertheilungsapparates I der Knopf *K* eines ganz gleichen Vertheilungsapparates II berührt, während dessen äußere Kugel gut abgeleitet war. Die Ladung, welche vorher dem Apparate I allein mitgetheilt war, wurde auf diese Weise zwischen den beiden Vertheilungsapparaten getheilt. — Nach dieser Theilung wurde die Stärke der freien Elektricität der inneren Belegung für jeden der beiden Vertheilungsapparate gemessen; der ersteren entsprach eine Torsion von 124°, der andern eine Torsion von 122° an der Drehwage, um die Kugeln, wie immer, auf einem Winkelabstande von 30° zu erhalten; nach der Theilung war also die freie Elektricität auf der innern Belegung sehr nahe gleich, und zwar, wie vorauszusehen war, halb so groß, als auf I vor der Theilung, es hat sich also die Ladung auf die beiden Vertheilungsapparate ganz gleich vertheilt.

Nun wurde in dem Apparate II die Hälfte der Luft durch ein anderes di-elektrisches Mittel (so nennt nämlich Faraday diejenigen Mittel, durch welche hindurch eine elektrische Vertheilung stattfindet) ersetzt. Zunächst wurde Schellack versucht. Die obere Hälfte des Apparates II wurde abgehoben, in die untere Hälfte der Kugel *A* eine halbkugelförmige Schale von Schellack eingelegt, und nun die obere Hälfte des Apparates wieder aufgesetzt, so daß der Zwischenraum zwischen der unteren Hälfte beider Kugeln durch Schellack ausgefüllt war, wie dies Fig. 36 angedeutet ist.

Fig. 36.



Der Apparat I, welcher unverändert, wie beim vorigen Versuch blieb, wurde ganz in der früheren Weise geladen, und die freie Elektricität der innern Belegung an der Torsionswage gemessen. Auf diese Weise gab

der Apparat I . . . . . . 290°

nun wurde die Ladung zwischen dem Apparate I und II getheilt, nach der Theilung gab

der Apparat I . . . . . . 114°
der Apparat II . . . . . 113°

Auch hier ist die freie Elektricität der innern Belegung beider Apparate

nach der Theilung sehr nahe gleich, allein sie ist weit geringer als die Hälfte der freien Elektricität der inneren Belegung des Apparates I vor der Theilung; daraus geht nun hervor, daß der Apparat II mehr als die Hälfte der Elektricität des Apparates I aufgenommen hat, ohne daß deshalb die freie Elektricität auf II größer wäre als auf I, und daraus schließt Faraday, daß durch Schellack hindurch eine kräftigere Bindung stattfinde.

Bezeichnen wir die Menge der freien Elektricität der inneren Belegung von I vor der Theilung mit 290, so ist die Gesammtmenge der hier vorhandenen Elektricität $n . 290$; nach der Theilung bleibt nur noch $n . 114$; es ist also $n (290 - 114) = n . 176$ an den Apparat II abgegeben worden. Hier aber findet nun nach Faraday's Ansicht ein anderes Verhältniß zwischen der gebundenen und freien Elektricität Statt; die freie Elektricität ist 113, die gebundene $n' 113$, wir haben also

$$n' 113 = n . 176$$

also

$$n' = n . \frac{176}{163} = n . 1{,}55;$$

durch Schellack hindurch findet also eine 1,55mal stärkere Bindung Statt als durch Luft, oder wie Faraday sich ausdrückt: Schellack hat ein 1,55mal größeres specifisches Vertheilungsvermögen als Luft.

Durch ähnliche Versuche fand Faraday das specifische Vertheilungsvermögen des Schwefels 2,24 mal so groß als das der Luft.

Für die verschiedenartigsten Gase fand Faraday das specifische Vertheilungsvermögen gleich dem der Luft. Um verschiedene Gase in den Apparat bringen zu können, war der Fuß durchbohrt und mit einem Hahn versehen; man konnte ihn auf eine Luftpumpe schrauben, evacuiren und dann ein anderes Gas einlassen.

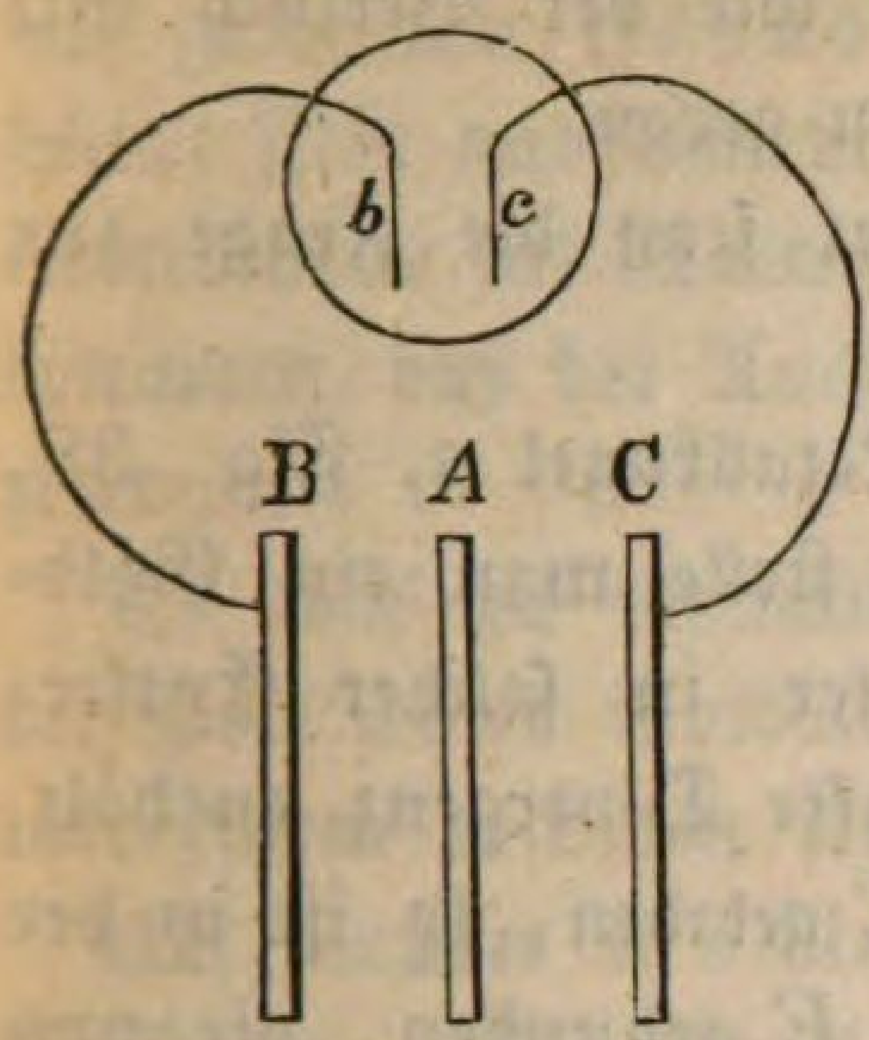
Auch Verdünnung und Erwärmung der Luft brachte keine Veränderung in ihrem specifischen Vertheilungsvermögen hervor.

Faraday führt zur Begründung seiner Ansicht über das specifische Vertheilungsvermögen noch weitere Versuche an.

Es sey A, Fig. 37, eine isolirte Metallscheibe, die in der Mitte zwischen zwei anderen gleichfalls isolirten Metallscheiben B und C aufgestellt ist, B sowohl als C wurden $5/4$ Zoll weit von A aufgestellt. Mit C war ein Draht verbunden, der mit dem Goldblättchen c endigte, ebenso endigte ein an B befestigter Draht mit einem Goldblättchen b. — Die beiden Goldblättchen hingen 2'' weit von einander in einer Glasflasche.

Es wurden jetzt B und C ableitend berührt, und der Platte A eine schwache positive Ladung ertheilt, wodurch B und C mit $- E$ geladen

Fig. 37.



wurden. — Die Verbindung von *B* und *C* mit dem Boden wurde aufgehoben, so daß jetzt diese beiden Platten wieder isolirt waren, wobei die Goldblättchen *b* und *c* nach wie vor parallel neben einander hängen blieben.

Nun wurde eine Schellackplatte von $^3/_4$ Zoll Dicke in 4 Quadratzoll Größe an einem saubern Faden weißer Seide hängend, nachdem sie sorgfältig von jeder Ladung befreit worden war, zwischen die Platten *A* und *B* gebracht. Sogleich wurde das elektrische Verhalten der drei Platten gestört und eine Anziehung zwischen den Goldblättern hervorgerufen. Bei Fortnahme des Schellacks verschwand diese Anziehung wieder. Der Schellack mit einem empfindlichen Coulomb'schen Elektrometer untersucht, zeigte sich auch jetzt noch ohne Ladung.

Darin findet nun Faraday wieder eine Bestätigung seiner Ansicht, er erklärt den Hergang folgendermaßen: Sobald die Schellackplatte zwischen *A* und *B* eingeschoben wird, findet auf *B* eine stärkere Ladung negativer Elektricität Statt, es wird mehr positive zurückgestoßen, die sich nach *b* verbreitet; weil aber *A* stärker gegen *B* wirkt als vorher, so muß auch negative Elektricität in *C* frei werden, *c* wird also freie — *E* enthalten, während auf *b* freie + *E* ist, daher die Anziehung der Blättchen. Wie Faraday geprüft hat, daß auf *b* und *c* wirklich diejenige Elektricität frei wird, wie es seiner Theorie zufolge seyn muß, findet sich in seiner Abhandlung nicht angegeben.

Die Faraday'schen Versuche sind vollkommen richtig, aber es scheint mir, als habe er diese Versuche falsch gedeutet und Schlüsse aus ihnen gezogen, zu denen er nicht berechtigt war. — Hier die Gründe für meine Behauptung:

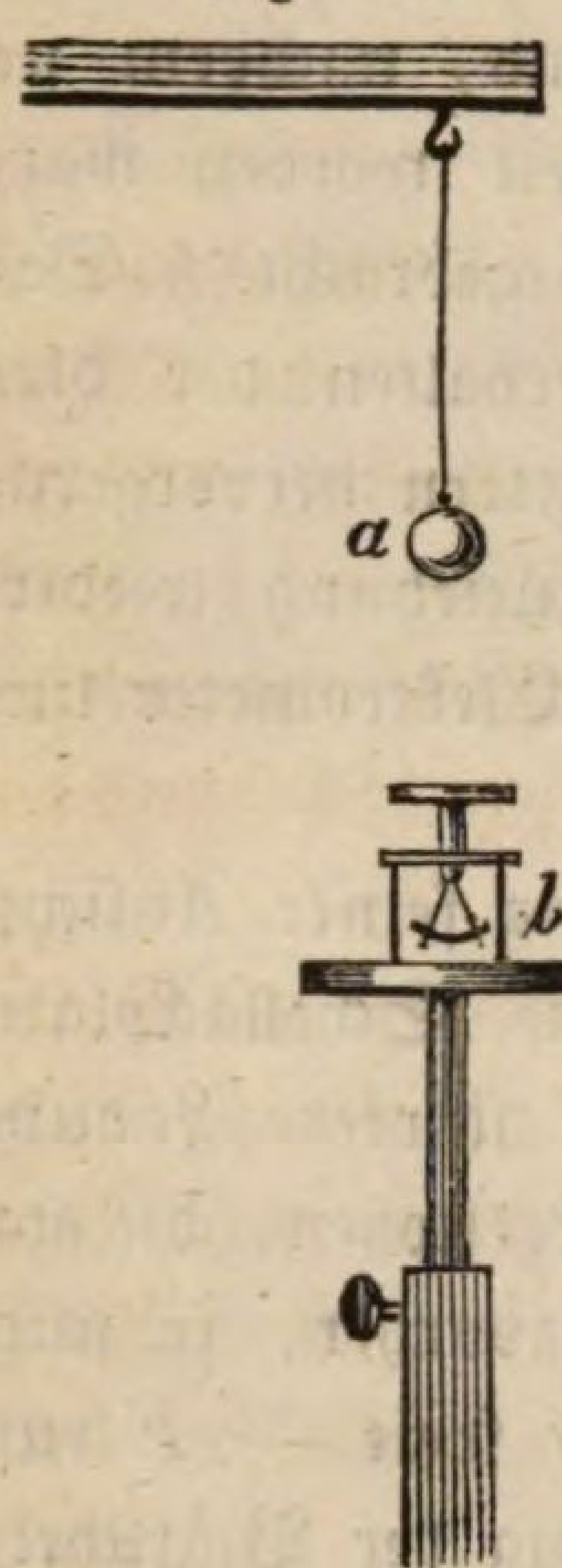
Wenn einem isolirten elektrischen Körper *A* ein zweiter Leiter *B* gegenübersteht, der mit dem Boden in leitender Verbindung ist, so wird auf *B* eine bestimmte Menge Elektricität gebunden. Auf *A* ist dann ein Theil der hier befindlichen *E* durch die entgegengesetzte auf *B* gebunden, ein Theil ist frei. Wird nun Schellack zwischen *A* und *B* gebracht, so ist nun auf *A* mehr Elektricität gebunden und weniger frei als vorher; dies ist die Thatsache, welche aus den Versuchen Faraday's mit dem Vertheilungsapparat hervorgeht. Er schließt aber weiter und sagt: durch den Schellack hindurch findet eine stärkerr Vertheilung Statt, und diese Behauptung hat er durch keinen Versuch bewiesen; hätte er diese Behauptung rechtfertigen wollen, so hätte er zeigen müssen, daß auf *B* bei gleicher Ladung von *A* mehr *E* gebunden wird, wenn Schellack sich zwischen bei-

den befindet, als wenn Luft der sie trennende Isolator ist. Der in Fig. 37 angedeutete Versuch ist eben so wenig geeignet wie der Versuch mit dem Vertheilungsapparat, um hierüber Aufschluß zu geben.

Der folgende Versuch dürfte aber wohl geeignet seyn die Frage zur Entscheidung zu bringen.

Unter einer isolirt aufgehängten elektrisirten Metallkugel *a*, Fig. 38, von 1 bis 2 Zoll Durchmesser, stelle man ein Goldblatt- oder Strohhalmelektrometer in solcher Entfernung auf, daß man eine namhafte Divergenz enthält. — Die Kugel *a* sey mit $+E$ geladen, so ist in der Platte des Elektrometers *b* $-E$ gebunden, die von *a* abgestoßene $+E$ ist in die Pendel getrieben, daher ihre Divergenz.

Fig. 38.



Nun schiebe man eine Schellackplatte zwischen *a* und *b* ein.

Ist Faraday's Ansicht richtig, so muß durch den Schellack hindurch eine stärkere Bindung stattfinden als vorher; in der Elektrometerplatte muß noch $-E$ gebunden werden, es muß also auch mehr $+E$ in die Pendel getrieben werden, die Divergenz derselben muß also wachsen.

Der Versuch zeigt aber, daß die Divergenz der Pendel abnimmt, sobald man die Schellackplatte einschiebt.

Durch den Schellack hindurch findet also entschieden keine stärkere Bindung Statt als durch Luft.

Wenn von der auf *a* befindlichen Elektricität nach dem Einschieben der Schellackplatten ein größerer Theil gebunden ist als vorher, so rührt dies also offenbar nur von einer gegenseitigen Wirkung zwischen *a* und der Schellackplatte, keineswegs aber daher, daß durch Schellack eine stärkere Vertheilung stattfindet.

Einen diesem ähnlichen Versuch hat schon Knochenhauer angestellt, er hat aber die Bedeutung desselben durchaus nicht richtig erkannt.

Statt des Elektrometers mit zwei Pendeln wandte Knochenhauer ein Säulenelektrometer an (P. A. LI, 126). Während dem Leiter *a* (bei Knochenhauer's Versuchen eine Metallplatte statt einer Kugel, was aber für den Erfolg ganz gleichgültig ist) eine schwache positive Ladung ertheilt wurde, war die Platte des Säulenelektrometers ableitend berührt; in dieser Platte war also $-E$ gebunden. Schob er nun eine Schellackplatte zwischen die Elektrometerplatte und den elektrischen Leiter *a* ein, so erhielt er einen Ausschlag des Goldblatts, und zwar behauptet er: »daß unmittelbar mit dem Einschieben (der Schellackplatte) das Goldblättchen des Elektrometers frei positive Elektricität anzeigte, so daß also

jetzt auf der unteren Scheibe mehr negative gebunden war;« dies wäre freilich ganz mit Faraday's Ansicht übereinstimmend. Allein dies Resultat steht mit dem von mir angestellten Versuche mit dem Strohhalmelektrometer im directen Widerspruch. Nach meinem Versuche mußte ich erwarten, daß der Ausschlag freie negative Elektricität des Goldblättchens zeigte.

Es war zu vermuthen, daß sich Knochenhauer in Beziehung auf die Pole seines Goldblattelektrometers geirrt hat, daß er einen negativen mit einem positiven Ausschlag verwechselte.

Um darüber in's Reine zu kommen, wiederholte ich Knochenhauer's Versuche. Die Kugel *a* wurde mit $+ E$ geladen, und als eine Schellackplatte zwischen *a* und dem Elektrometer eingeschoben wurde, bewegte sich das Goldblättchen nach dem positiven Pol der Säule, d. h. nach demselben, nach welchen es ausschlägt, wenn man von Oben eine geriebene Harzstange nähert, das Goldblättchen erhielt also durch das Einschieben der Schellackplatte freie $-E$.

Wäre Knochenhauer's Behauptung die richtige, so müßte das Goldblättchen beim Einschieben der Schellackplatte (während *a* positiv ist) nach derselben Seite ausschlagen, nach welcher es ausschlägt, wenn man dem Elektrometer von Oben eine mit Seide geriebene Glasstange nähert. Das Nähern der geriebenen Glasstange brachte aber einen Ausschlag hervor, welcher dem entgegengesetzt war, der das Einschieben der Schellackplatte bewirkte. Somit ist Knochenhauer's Irrthum in Beziehung auf die Natur des Ausschlages dargethan.

Faraday's Ansicht, daß durch Schellack hindurch eine stärkere Bindung stattfinde als durch Luft, ist demnach entschieden unrichtig. Die angeführten Versuche mit dem Strohhalmelektrometer sowohl als mit dem Säulenelektrometer widersprechen ihm direct.

Wie aber sind alle die angeführten Erscheinungen zu erklären? Ich erlaube mir darüber nur einige Andeutungen, welche vielleicht geeignet seyn dürften den Weg anzudeuten, welchen man einschlagen muß, um die Frage zur definitiven Entscheidung zu bringen.

Schiebt man zwischen der elektrisirten Kugel *a*, Fig. 38, und dem Strohhalmelektrometer einen nicht isolirten Leiter ein, so fallen die Pendel ganz zusammen. Es ist dies nach den bekannten Gesetzen nicht anders zu erwarten.

Schiebt man zwischen *a* und dem Elektrometer eine isolirte Metallscheibe ein, so findet eine bedeutende Verminderung der Divergenz der Pendel Statt, sie fallen jedoch nicht ganz zusammen. Es ist dies jedenfalls die Folge einer vertheilenden Wirkung, welche *A* auf die eingeschobene isolirte Metallscheibe ausübt.

Schiebt man zwischen a und dem Elektrometer eine Schellackscheibe ein, so findet ebenfalls eine Verminderung der Divergenz Statt, doch nicht so bedeutend wie beim Einschieben der isolirten Metallscheibe. Es scheint dies darauf hinzudeuten, daß der elektrische Körper a auch im Schellack eine Vertheilung bewirkt, wenn auch nicht so stark wie in einem guten Leiter. In der That wissen wir ja auch, daß Schellack zwar ein sehr schlechter Leiter, aber doch kein absoluter Isolator ist.

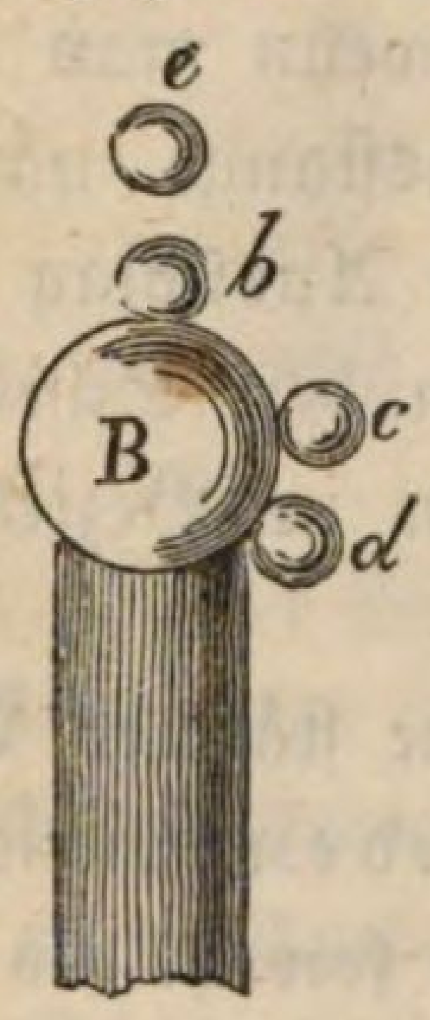
Etwas ähnliches scheint auch Knochenhauer in dem citirten Aufsatze andeuten zu wollen.

Jedenfalls ist dieser Gegenstand einer näheren Untersuchung zu unterwerfen; nur soviel steht fest, daß durch starre Isolatoren hindurch keine stärkere Bindung stattfindet als durch Luft, wie dies Faraday's Ansicht ist.

23 **Vertheilung in krummen Linien.** Sehen wir nun wie Faraday die Vertheilung in krummen Linien darzuthun sucht.

Ein Schellackcylinder von 0,9 Zoll Durchmesser, welcher vertikal aufgestellt werden kann und oben eine Vertiefung hat, wird durch Reiben elektrisch gemacht, und eine Messingkugel von 1 Zoll Durchmesser aufgelegt. Nun wurde eine isolirte Probekugel an die mit d, c, b und e bezeichneten Stellen gebracht, einen Augenblick ableitend berührt, und dann untersucht, ob, und welche elektrische Ladung sie habe. Es ergab sich, daß diese Probekugel sowohl bei d und c, als auch bei b und e, eine positive Ladung erhalten hatte.

Fig. 39.



Das Resultat dieser Versuche hat nicht das mindeste Auffallende, man hätte den Erfolg wohl voraussehen können. Die Kugel B wird durch Vertheilung positiv elektrisch; auf die Probekugel, wo sie sich auch befinden mag, also auch in b und e, wirkt gleichzeitig die $-E$ des Schellackcylinders und die gebundene $+E$ der Kugel B; die Wirkung des Schellackcylinders ist überwiegend, folglich wird die Probekugel sowohl in b als auch in e mit gebundener $+E$ geladen werden müssen.

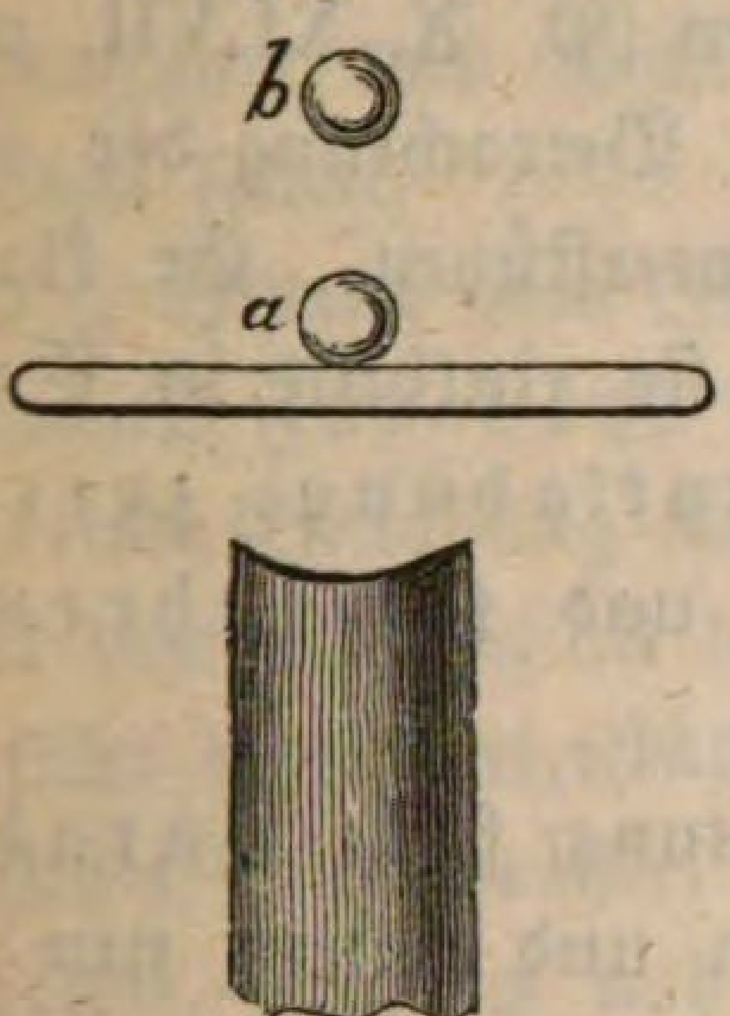
Es ist dies ein ganz analoger Fall, wie der auf Seite 35 besprochene.

Daß Faraday hier etwas Besonderes findet, was mit den bisherigen Vorstellungen über die Wirkung der Elektricität in die Ferne im Widerspruch stehen soll, ist ein Beweis, daß er von den Grundsätzen der statischen Elektricität durchaus keine klare Vorstellung hat. Er macht sich von dem Hergang der Sache folgende Vorstellung: Die Probekugel ist in b sowohl als in e durch Vertheilung elektrisch geworden, da man nun aber weder von b noch von e aus den Schellackcylinder sehen kann, so

muß also die Vertheilung um *B* herum durch die Luft, es muß also eine Vertheilung in krummen Linien stattgefunden haben. Um zu dieser Erklärung kommen zu können, muß Faraday natürlich annehmen, daß durch einen Leiter hindurch gar keine vertheilende Wirkung stattfinden könne.

Daß durch Metall hindurch keine Vertheilung stattfinden könne, dafür glaubt Faraday sogar einen Beweis liefern zu können. Ueber den Schellackcylinder wurde eine Metallscheibe *C* Fig. 40 gehalten, und für einen Augenblick ableitend berührt, so daß sie sich durch Vertheilung mit $+E$ laden mußte. Wurde nun eine Probescheibe oder eine kleine Probekugel in *a* dicht über die Mitte der Scheibe gehalten und für einen Augenblick ableitend berührt, so zeigte sie doch durchaus keine Ladung, woraus Faraday schloß, daß die Elektricität des Schellackcylinders nicht durch die Metallscheibe hindurch vertheilend wirken kann, erhebt man aber die Probekugel etwa bis *b*, so empfängt sie hier eine positive Ladung, welche nach Faraday's Ansicht daher rührt, daß die Vertheilung in krummen Linien um die Platte herum fortschreitend auf den Punkt *b* wirken kann.

Fig. 40.



Denselben Versuch in etwas anderer Form hat auch Fechner in der schon oben Seite 37 angeführten Abhandlung (P. A. LI. 321) besprochen, er hat gezeigt, daß die Erscheinung, wie sie auch Faraday beschreibt, eine nothwendige Folge der bekannten Gesetze der Bindung und Vertheilung sind.

Fechner sagt:

»Daß das Maximum der Wirkung in einiger Entfernung von der »oberen Scheibe*) eintritt, kann nichts auffallendes haben. Für alle »Punkte der oberen Scheibe muß die Wirkung der negativen Elektricität, »die sie enthält, genau im Gleichgewicht seyn mit der Wirkung der positiven Elektricität der unteren Scheibe, sonst müßte mehr oder weniger »Elektricität in der oberen Scheibe zersetzt werden, und sich mehr ansammeln als es der Fall ist. Erhebt man aber die Prüfungsplatte über »die obere Scheibe, so nimmt ihr Abstand von den Punkten der oberen »Scheibe in anderm Verhältniß zu, als von denen der untern Scheibe, daher fängt diese (nämlich die Wirkung der unteren Scheibe) an zu über-

*) Fechner hatte statt des Schellackcylinders eine positiv elektrische isolirte Metallplatte, die er die untere nennt, angewandt.

»wiegen. Inzwischen kann die Wirkungszunahme mit der Erhebung der »Prüfungsplatte nur bis zu einem gewissen Maximum gehen, weil bei »großer Entfernung die Wirkung jeder Scheibe für sich schon verschwindet.«

Diese Erscheinungen sind also durchaus kein Beweis für die Vertheilung in krummen Linien, und überhaupt läßt sich behaupten, daß Faraday für die Ansicht, daß die Vertheilung durch die Vermittlung der Theilchen des zwischenliegenden Isolators vor sich gehe, durchaus keinen haltbaren Beweis geliefert hat.

24 **Faraday's Vertheilungstheorie.** Faraday sucht in der 12ten und 13ten Reihe seiner Experimentaluntersuchungen (P. A. XLVII. und XLVIII.) seine Vertheilungstheorie noch durch die Betrachtung der verschiedenen Formen der elektrischen Entladung zu unterstützen. Er klassificirt die verschiedenen Entladungsarten, indem er sie eintheilt in Entladung durch Leitung, elektrolytische Entladung, zerreißende Entladung (Funken, Büschel u. s. w.) und fortführende Entladung.

Bei der Betrachtung der Entladung durch Leitung sucht Faraday darzuthun, daß der Unterschied zwischen Isolatoren und Leitern nur ein quantitativer sey, eine Wahrheit, die meines Wissens noch Niemand in Zweifel gezogen hat.

Der elektrolytischen Ladung, sagt Faraday, geht eine vertheilende Wirkung durch das Elektrolyt hindurch voraus; der Vertheilungszustand ist in der That ein nothwendiger Vorläufer der Entladung, der Zersetzung geht ein Polarisations- ein Spannungszustand den Theilchen der zu zersetzenden Flüssigkeit voraus. — Auch dagegen ist nichts einzuwenden.

Für die zerreißende Entladung sucht Faraday gleichfalls nachzuweisen, daß die Theilchen des Di-elektriums, durch welches hindurch die Entladung, sey es nun in Form von Funken oder Büscheln, stattfindet, sich in einem Spannungs- oder Polarisationszustande befinden, von welchem übrigens Faraday trotz der unendlich weitläufigen Besprechung des Gegenstandes keineswegs eine klare Vorstellung giebt. Seine theoretischen Betrachtungen über diesen Punkt sind eben so gedehnt, wie sie dunkel und unverständlich sind, mir wenigstens ist es nicht gelungen, mir eine klare Vorstellung davon zu machen, wie sich wohl Faraday den Polarisationszustand der isolirenden Theilchen denkt, welchen die elektrische Entladung, sey es in Form von Funken oder Büscheln, vorausgeht.

Wenn wir uns von einem solchen Spannungs- oder Polarisationszustande der Lufttheilchen, welche der Funken- oder Büschelentladung vorausgeht, auch keine klare Vorstellung machen können, so ist doch die Existenz eines solchen Zustandes keineswegs zweifelhaft, so wenig wie eine solche

Annahme mit den bisherigen elektrischen Theorien im Widerspruch steht; Faraday aber geht weiter; er sieht in diesem Polarisationszustande einen Beweis, daß die elektrische vertheilende Wirkung, welche durch die Luft oder das sie ersetzende Di-elektricum hindurch stattfindet, durch diesen Polarisationszustand vermittelt werde. Für die Richtigkeit dieser Ansicht ist jedoch Faraday den Beweis vollständig schuldig geblieben.

In der Absicht, seine Vertheilungstheorie dadurch zu begründen, führt Faraday viele Versuche über Funken und Büschel an, die, wenn sie auch vor der Hand noch keine so hohe theoretische Bedeutung haben, doch als interessante und wichtige Thatsachen an einer andern Stelle besprochen werden sollen.

Da Leitung und Isolation nur quantitativ verschiedene Zustände sind, so meint Faraday, daß auch in besser leitenden Flüssigkeiten eine fortführende Entladung stattfinden könnte, wenn nur eine hinlängliche Quantität von Elektricität vorhanden wäre. Der folgende Versuch möchte diese Ansicht wohl unterstützen.

Zwei Platindrähte, welche die Pole einer starken Volta'schen Batterie bildeten, wurden nahe und neben einander in eine starke Glasröhre mit destillirtem Wasser, welches einige Fäserchen enthielt, hermetisch eingeschmolzen. Als vermöge des in Folge der fortdauernden Gasentwickelung verstärkten Druckes die Blasen an dem Elektroden so klein geworden waren, daß sie nur schwach aufsteigende Ströme anzeigten, konnte bemerkt werden, daß die Fäserchen zwischen beiden Drähten angezogen und abgestoßen wurden, wie sie es zwischen zwei entgegengesetzt geladenen Flächen in Luft oder Terpentinöl geworden wären; sie bewegten sich so rasch, daß sie die Blasen und Ströme, welche diese zu bilden suchten, verschoben und störten. Nun glaubt Faraday, daß es kaum bezweifelt werden könne, daß unter ähnlichen Umständen bei einem reichlichen Zuflusse von Elektricität, besonders von hinlänglicher Spannung, fortführende Ströme gebildet worden wären. Die Anziehungen und Abstoßungen der Fäserchen waren in der That die Elemente solcher Ströme, und deshalb ist Wasser, obgleich es als Leiter fast unendlich über Luft und Terpentinöl steht, ein Medium, in welchem ähnliche Ströme stattfinden können.

Faraday's Theorie behauptet, nicht über die Folgerungen hinsichtlich eines Vacuums zu entscheiden. Nach seiner Ansicht sind die elektrischen Erscheinungen, wie die der Vertheilung, Leitung, Isolation bedingt und erzeugt worden durch die Wirkung angrenzender Körpertheilchen, wobei das nächste Theilchen als ein angrenzendes zu betrachten ist; ferner nimmt Faraday an, daß diese Theilchen polarisirt werden, und daß sie nur durch Wirkung der angrenzenden und intermediären Theilchen in die Ferne wirken.

Allein angenommmen, daß in die Bahn der Vertheilungslinien ein Vacuum trete, so folgt nicht aus dieser Theorie, sagt Faraday, daß die Theilchen auf der andern Seite desselben nicht auf einander wirken können. Gesetzt, sagt er, es sey einem positiv elektrisirten Theilchen möglich, im Mittelpunkte eines Vacuums von 1 Zoll Durchmesser zu existiren, so hindert nichts in meiner Theorie das Theilchen, in der Entfernung von ½ Zoll auf alle die Grenzfläche der Kugel bildende Theilchen zu wirken, mit einer Kraft, gemäß der bekannten Gesetze der Quadrate der Entfernung.

Hier nimmt also Faraday doch wieder die actio in distans an.

In der vierzehnten Reihe von Experimental-Untersuchungen (P. A. Ergänzungsband von 1842) stellt Faraday seine Ansichten über die Natur der elektrischen Kräfte und namentlich über den die Vertheilung begleitenden Spannungszustand etwas zusammen; ich will diese Zusammenstellung wörtlich anführen:

»1669. Die Theorie (nämlich Faraday's Theorie) nimmt an, daß »alle Theilchen, sowohl von isolirenden als leitenden Substanzen, als »Ganze Leiter sind.

»1670. Daß sie in ihrem Normalzustande nicht polar sind, es aber »durch den Einfluß benachbarter geladener Theilchen werden können, und »der Polarzustand in einem Augenblicke entwickelt werden kann, genau »wie in einer isolirten leitenden Masse von vielen Theilchen.

»1671. Daß die Theilchen polarisirt in einem Zwangszustande befindlich sind, und in ihren normalen oder natürlichen Zustand zurückzukehren suchen.

»1672. Daß sie, da sie als Ganze Leiter sind, leicht geladen werden »können, entweder massenhaft oder polar (bodily or polarly).

»1673. Daß Theilchen, welche in der Linie der Vertheilungswirkung »an einander liegen, ihre Polarkräfte mehr oder weniger leicht »einander mittheilen oder auf einander übertragen können.

»1674. Daß in denen, die dieses weniger leicht thun, die Polarkräfte »auf einen höheren Grad steigen, bevor diese Uebertragung oder Mittheilung stattfindet.

»1675. Daß die leichte Mittheilung der Kräfte zwischen angrenzenden »Theilchen: Leitung, und die schwierige: Isolation ausmacht, daß »Leiter und Isolatoren Körper sind, deren Theilchen von Natur die Eigenschaft besitzen, ihre respectiven Kräfte leicht oder schwierig mitzutheilen, »und daß die Körper darin gerade so verschieden sind, als in andern natürlichen Eigenschaften.

»1676. Daß die gewöhnliche Vertheilung das Resultat ist der Einwirkung der mit erregter oder freier Elektricität geladenen Substanz auf

»isolirende Substanz, und in dieser den entgegengesetzten Zustand zu glei-»chem Betrage zu erregen sucht.

»1677. Daß sie [die geladene Substanz (P.)] dies nur vermag durch »Polarisation der dicht angrenzenden Theilchen, welche dasselbe bei den näch-»sten bewirken, diese wiederum bei den folgenden, und daß so die Wirkung »fortgepflanzt wird von dem erregten Körper zu der nächsten leitenden »Masse, und daselbst die entgegengesetzte Kraft sichtbar macht, in Folge des »Effects der Mittheilung, welche in der leitenden Masse nach der Polari-»sation der Theilchen (of that body) hinzutritt (1675).

»1678. Daß Vertheilung deshalb nur durch Isolatoren hin statt-»finden kann; daß Vertheilung Isolation ist, und die nothwendige Folge »des Zustandes der Theilchen und der Art, wie der Einfluß elektrischer »Kräfte quer durch solche isolirende Media fortgepflanzt oder durchgelassen »wird.«

»1679. Die Theilchen eines isolirenden Di-elektricum, das unter Ver-»theilung steht, können verglichen werden mit einer Reihe kleiner Magnet-»nadeln, oder, noch richtiger, mit einer Reihe kleiner isolirter Conductoren. »Wenn der Raum rings um eine geladene Kugel gefüllt wäre mit einem »Gemeng von einem isolirenden Di-elektricum, wie Terpentinöl oder Luft, »und kleinen kugelförmigen Leitern, wie Schrot, in der Weise, daß diese »etwas von einander abständen, um isolirt zu seyn, so würden diese in »ihrem Zustande und ihrer Wirkung genau dem ähneln, was ich glaube, »der Zustand und die Wirkung der Theilchen des isolirenden Di-elektricum »selbst ist. Wäre der Körper geladen, so würden alle diese kleinen Leiter »polar; würde man die Kugel entladen, so würden alle in ihren Normal-»zustand zurückkehren, um bei Wiederladung der Kugel abermals polarisirt »zu werden. Der mittelst Vertheilung quer durch solche Theilchen in einer »entfernten leitenden Masse erregte Zustand würde von entgegengesetzter »Art seyn, und im Betrage genau gleich der Kraft der vertheilenden Ku-»gel. Es würde daselbst eine Seitenverbreitung der Kraft (1224. 1297) »stattfinden, weil jedes polarisirte Kügelchen in einer thätigen oder Span-»nungs-Beziehung zu allen ihm benachbarten stände, gerade so, wie ein »Magnet auf zwei oder mehre benachbarte Magnetnadeln wirken kann, »und diese wiederum auf eine noch größere Zahl jenseits liegende wirken »können. Hieraus würden krumme Linien der Vertheilungskraft entste-»hen, wenn der vertheilte Körper in solch einem gemischten Di-elektricum »eine unisolirte metallische Kugel (1219 ꝛc.) oder andere gehörig geformte »Masse wäre. Solche krummen Linien sind die Folgen zweier elektrischen »Kräfte, so geordnet, wie ich es annehme; und daß die Vertheilungskraft »nach solchen krummen Linien gerichtet werden kann, ist der strengste Be-

»weis des Daseyns der beiden Kräfte und des Polarzustands der di-elek-»trischen Theilchen.

»1680. Ich glaube, es ist einleuchtend, daß in dem angegebenen Falle »die Wirkung in die Ferne nur aus einer Wirkung der anliegenden lei-»tenden Theilchen übergehen kann. Kein Grund ist da, warum der ver-»theilende Körper entfernte Leiter polarisiren oder afficiren und die be-»nachbarten, namentlich die Theilchen des Di-elektricums unafficirt »lassen sollte; alle Thatsachen und Versuche mit leitenden Massen oder »Theilchen von beträchtlicher Größe widersprechen einer solchen Voraus-»setzung.«

Faraday stellt sich alles dem eben mitgetheilten zu Folge ungefähr wie ein Aggregat kleiner Leiter vor, die durch eine isolirende Substanz getrennt sind; die vertheilende Wirkung von einem Theilchen zum andern muß er sich also gerade so vorstellen, wie man sich gewöhnlich den Vorgang der Vertheilung zwischen zwei Leitern denkt; zwischen zwei Theilchen des Isolators muß er also auch eine actio in distans in der gewöhnlichen Art anneh-men. Da er also in letzter Instanz doch wieder eine Wirkung in die Ferne und isolirende Zwischenräume annehmen muß, so ist wahrlich wenig Grund vorhanden, in diesem Falle die bisher gangbaren Vorstellungen fallen zu lassen, die allerdings manches Mangelhafte haben mögen, die man aber doch so lange wird beibehalten müssen, bis schlagendere Beweise nicht allein ihre Unzulänglichkeit, sondern auch ihre Unrichtigkeit darthun.

Im weiteren Verlaufe der vierzehnten Reihe beobachtet Faraday das Vertheilungsvermögen krystallisirter Körper nach verschiedenen Rich-tungen hin. — Nach seinen Vorstellungen über specifisches Vertheilungs-vermögen wäre es wohl denkbar, daß krystallisirte Körper nicht nach allen Richtungen hin gleiches Vertheilungsvermögen haben, daß z. B. Bergkry-stall oder Kalkspath in der Richtung ihrer optischen Axe ein größeres oder geringeres Vertheilungsvermögen hätten, als rechtwinklig zu derselben. Faraday's Versuche lassen die Frage durchaus unentschieden, indem sich in den meisten Fällen nur höchst geringe Unterschiede zeigten, in andern Fällen aber, wo sich größere Differenzen ergaben, farbige Schichten im Krystall, Sprünge und dergleichen eine störende Wirkung gehabt haben können. Ich halte es nicht für nöthig, hier mehr ins Einzelne zu gehen.

Faraday's Ansichten über die elektrische Vertheilung mußten ihm noth-wendig die Frage aufdrängen, ob die magnetischen Anziehungen und Ab-stoßungen, wie man bisher annahm, einer Wirkung in die Ferne zuzu-schreiben sind, oder ob auch der Magnetismus in ähnlicher Weise durch die Vermittelung intermediärer Theilchen in die Ferne wirke, analog, wie er es sich bei der Vertheilung der statischen Elektricität denkt.

Die Versuche, welche Faraday zur Lösung dieser Frage anstellte, ga-

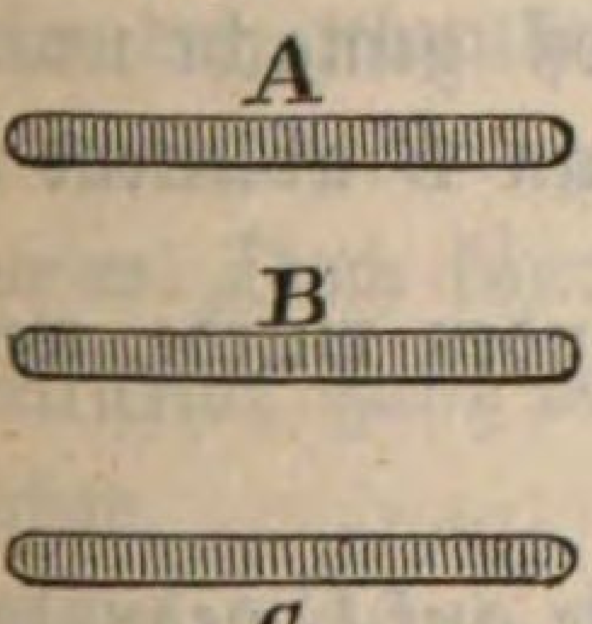
ben durchaus negative Resultate, mochte er nun Schellack=, Schwefel= oder Kupferplatten als Zwischenkörper anwenden. Es war hier kein Zeichen vom Einfluß intermediärer Theilchen zu erlangen.

Wenn auch die ersten Versuche nicht dafür sprechen, daß der Magnetismus durch die Vermittelung zwischenliegender Theilchen in die Ferne wirke, so wäre es doch denkbar, daß ein Magnet dennoch auch alle Theilchen der ihn umgebenden nicht magnetischen Körper afficire, sie in einen eigenthümlichen Spannungszustand versetze, ähnlich dem Spannungszustande des Di=elektricums, durch welches hindurch Vertheilung von einem Leiter zu einem andern stattfindet, und sicherlich ist Faraday durch das Bestreben, Beweise für einen solchen Zustand aufzufinden, zur Entdeckung der Drehung der Polarisationsebene durch Magnetpole und durch galvanische Ströme, so wie des Diamagnetismus geleitet worden, Entdeckungen, die allein hinreichen würden, seinen Namen in der Geschichte der Wissenschaft unsterblich zu machen.

Munck af Rosenschöld, über Vertheilung und Bindung. 25
Im 69sten Bande von Poggendorff's Annalen findet sich ein Aufsatz von Munck af Rosenschöld, in welchem ebenfalls Vertheilung und Bindung der Elektricität besprochen wird. Bei seinen etwas gedehnten Betrachtungen, in welchen er natürlich auch viel Bekanntes zur Sprache bringt, geht er von der richtigen Ansicht über Vertheilung aus, welche auch von Rieß und Fechner vertreten worden ist.

Folgendes möchte wohl das wichtigste aus Rosenschöld's Aufsatze seyn.

Fig. 41.



Die Scheibe A, Fig. 41, sey elektrisch und wirke vertheilend auf B und C. — Die auf A vorhandene Elektricitätsmenge sey E, so wird sie auf dem mit einem dünnen Drahte ableitend berührten B die Elektricitätsmenge $-mE$ binden. Nun wird die Scheibe C in den elektrischen Schatten von B gebracht und ebenfalls ableitend berührt, so wirkt auf diese Scheibe sowohl A als auch B. Bezeichnen wir mit m' den Bindungscoefficienten, welchem die Entfernung zwischen B und C zukommt, so wird von B aus in C gebunden $m' \cdot mE$, da mE die auf B vorhandene Elektricität bezeichnet, allein von A aus wird auf C gebunden $-m''E$, wenn m'' den der Entfernung von A nach C entsprechenden Bindungscoefficienten bezeichnet; auf C wird also gebunden seyn

$$c = mm'E - m''E.$$

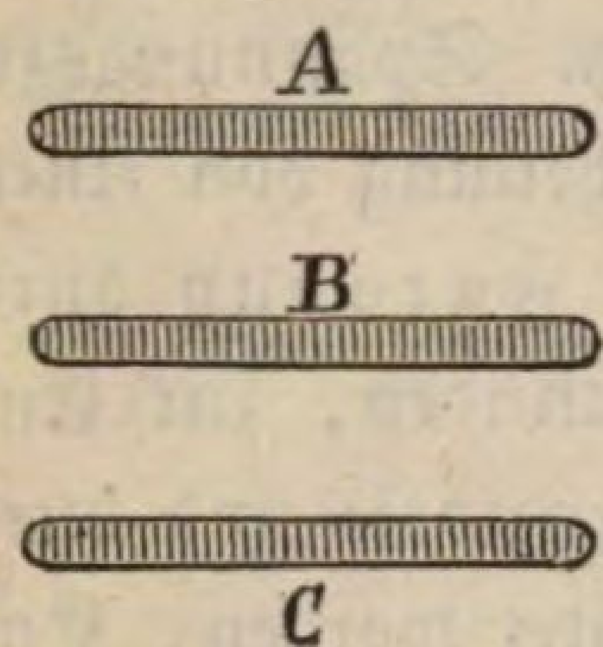
Die Dichtigkeit der auf C gebundenen Elektricität ist nur stets gering, wäre sie ganz Null, so hätte man

$$m \cdot m' = m''.$$

Wäre dies wirklich streng wahr, so wäre m^2, m^3, m^4 u. s. w. der Bindungscoefficient für die Entfernungen 2, 3, 4, wenn m den Bindungscoefficienten für die Entfernung 1 bezeichnet, oder mit andern Worten, die Entfernungen wären die Logarithmen der Vertheilungscoefficienten.

Die gebundene Elektricität auf C ist aber nicht Null, wenn sie auch schwach ist. Sie wird unmerklich, wenn C sehr nahe an B, oder auch wenn A sehr nahe an B gerückt wird, für eine bestimmte Entfernung zwischen A und C wird die gebundene Elektricität ein Maximum, wenn sich B gerade in der Mitte zwischen beiden befindet.

Fig. 42.



Diese Beziehungen hat schon Fechner ermittelt und in seiner erwähnten Abhandlung ausgesprochen (siehe Seite 37).

Rosenschöld suchte nun zu bestimmen, in welchem Verhältnisse sich die Menge der auf C gebundenen Elektricität ändert, wenn einmal die Zwischenplatte B isolirt bleibt, dann aber ableitend berührt wird.

Die Scheiben A, B und C hatten 6 Zoll im Durchmesser, die Entfernung von A und C betrug 9'', B war in der Mitte zwischen beiden. War nun B ableitend berührt, so fand Rosenschöld, daß die auf C gebundene Elektricität nur $\frac{1}{75}$ von derjenigen war, welche auf C gebunden wurde, von B isolirt blieb. Im letzteren Falle, d. h. wenn B isolirt bleibt, ist es nach Rosenschöld's Versuchen ziemlich gleichgültig, ob die Scheibe B vorhanden ist oder nicht.

Als nun die Entfernung von A und C halb so groß gemacht wurde, war die Elektricität, welche auf C gebunden wurde, wenn B ableitend berührt war, nur $\frac{1}{235}$ von der, welche für den Fall gebunden wurde, wenn B isolirt blieb.

Als A und C 2 Fuß von einander abstanden, war die auf C gebundene Elektricität überhaupt nicht bedeutend, bei ableitend berührtem B betrug aber die gebundene Elektricität auf C doch noch mehr als die Hälfte von der, welche bei isolirtem B beobachtet wurde.

Aehnliche Versuche wurden mit dreizölligen Scheiben gemacht.

Als A und C 9 Linien von einander abstanden, war bei abgeleitetem B die auf C gebundene Elektricitätsmenge $\frac{1}{27}$ von der bei isolirtem B auf C gebundenen.

Als Endresultat dieser Versuche ergab sich, daß m'' nur wenig von mm' verschieden ist, so lange die Entfernung der Scheiben A und C $^1/_4$ bis $^1/_8$ ihres Durchmessers nicht übersteigt.

Was die obigen Verhältnißzahlen $\frac{1}{75}$, $\frac{1}{235}$, $\frac{1}{27}$ betrifft, so ist zu bemerken, daß Rosenschöld nicht gehörig angegeben hat, wie er die Angaben seiner Elektrometer, die er zu diesen Messungen benutzte, gehörig vergleichbar machte.

Rieß, über Influenz-Elektricität und die Theorie des Condensators. Die letzte hierher gehörige Arbeit, welche wir noch zu besprechen haben, ist diejenige, welche Rieß im 73sten Bande von Poggendorff's Annalen unter dem Titel: »über Influenz-Elektricität und die Theorie des Condensators« publicirt hat. Mit dem Namen Influenz-Elektricität bezeichnet Rieß das, was man gewöhnlich gebundene Elektricität nennt, eine Bezeichnung, die, wie Rieß in der historischen Einleitung zu seinem Aufsatze zeigt, viel zur Befestigung irriger Ansichten über das Wesen der Influenz-Elektricität beigetragen hat. 26

Lichtenberg hat den Ausdruck »gebundene« Elektricität zuerst in die Wissenschaft eingeführt. Lichtenberg spricht von der gebundenen, latenten oder todten Elektricität im Gegensatze zu der freien, sensibelen, er unterscheidet von dem gewöhnlichen elektrischen Zustande einen andern, in welchem die Elektricität zwar vorhanden, aber wirkungslos, todt, latent seyn soll, ganz analog der gebundenen Wärme. (Erxleben, Anfangsgründe der Naturlehre. 3te Aufl. mit Zusätzen von Lichtenberg. 784. Seite 499.)

Dies ist für die Wissenschaft von sehr nachtheiligen Folgen gewesen, und hat Veranlassung zu den abentheuerlichsten Vorstellungen über das Wesen der gebundenen Elektricität gegeben, welche, hartnäckig vertheidigt, wie wir ja oben gesehen haben, nur mit vieler Mühe berichtigt werden konnten. Doch können wir wohl jetzt die Meinung, als ob der gebundenen Elektricität ganz besondere Eigenschaften zukämen, als eine überwundene ansehen.

Biot stellt die Theorie des Condensators und der Leidener Flasche ungefähr so dar. Wenn einer isolirten Metallplatte die Elektricitätsmenge 1 mitgetheilt wird, so wird diese in einer nahe gestellten ableitend berührten Metallplatte die Elektricitätsmenge m binden, die dann wieder auf die erste Scheibe zurückwirkend in dieser die Elektricitätsmenge m^2 bindet, so daß nur noch die Elektricitätsmenge $1 - m^2$ als freie Elektricität übrig bleibt. Ist E die größte Elektricitätsmenge, welche die isolirte Platte einzelnstehend aufnehmen kann, so wird sie in der Nähe der Condensatorplatte noch mehr Elektricität aufnehmen können, bis ihre freie Elektricität E beträgt. Bezeichnet A die ganze Elektricitätsmenge, welche sie jetzt aufzunehmen im Stande ist, so muß also $(1 - m^2)\, A = E$ seyn,

und daraus $\frac{A}{E} = \frac{1}{1 - m^2}$. Dieser Bruch giebt das Verhältniß der Elektricitätsmengen an, welche die isolirte Platte einmal einzeln stehend und dann in der Nähe der Condensatorplatte aufnehmen kann, sie drückt daher die condensirende Kraft des Apparates aus.

Diese Formel ist nun ganz zulässig, in so weit sie nur zur Veranschaulichung der Wirkung des Condensators dienen; es muß aber als ein Mißbrauch dieser Formel bezeichnet werden, wenn sie zur wirklichen Berechnung der condensirenden Kraft des Apparates angewandt werden soll, denn Rieß weis't nach, daß die Verstärkungszahl des Condensators durchaus keine bestimmte, etwa nur von der Entfernung der Platten abhängige Größe ist, sondern daß sie abhängt von der Form und der Größe der Condensatorplatte, von der Lage des Ableitungsdrahtes der Condensatorplatte, von der Stelle, an welcher der Collectorplatte die Elektricität aus der Elektricitätsquelle zugeführt wird u. s. w. Kurz, Rieß hat gezeigt, daß die Condensationszahl eine Größe ist, welche bei demselben Instrumente von einem Versuche zum andern variirt, daß man also auch die obige Formel nicht anwenden könne, um die condensirende Kraft des Apparates zu berechnen.

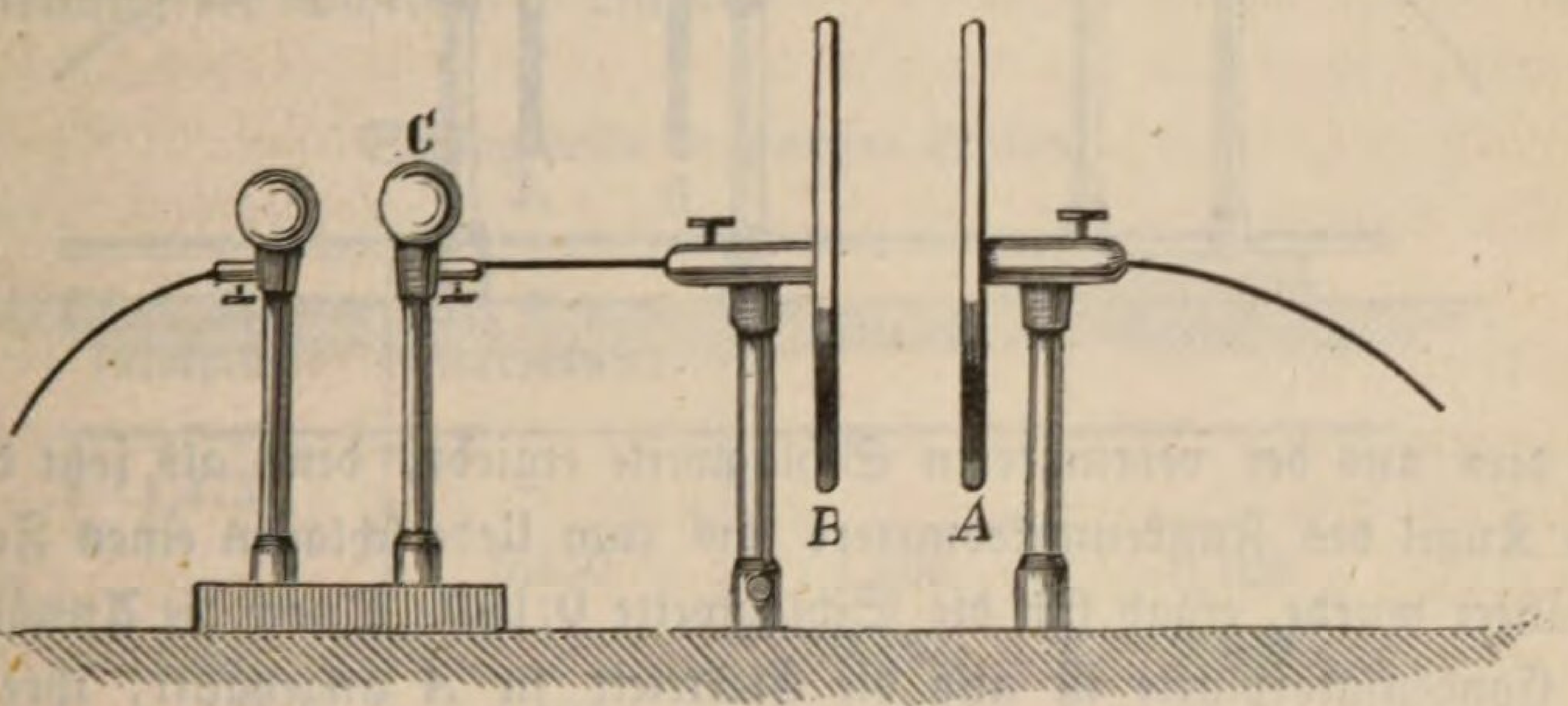
Ueber die Art und Weise, wie sich Rieß über die besprochene Formel äußert, erlaube ich mir noch einige Bemerkungen zu machen. Er spricht sich nämlich sehr stark gegen jene Formel aus, und zwar so, daß man meinen sollte, die ganze Vorstellungsweise, die Biot von der Wirkung des Condensators vorträgt, sey nicht allein mangelhaft, sondern sogar grundfalsch. — Rieß bekämpft mit Recht den Mißbrauch, den man von der Formel gemacht hat, um die condensirende Kraft des Apparates zu berechnen, und weis't durch Versuche unwiderleglich nach, daß eine solche Anwendung derselben nicht zulässig sey; in den einleitenden Betrachtungen drückt er sich aber in einer Weise aus, daß man glauben sollte, er wollte noch weit mehr gegen die Formel beweisen, als es in der That seine Absicht ist, wodurch das Verständniß seiner Abhandlung sehr erschwert wird. Erst später merkt man, daß es mit der Polemik gegen die Formel so schlimm nicht gemeint ist, als man anfangs glauben sollte, erst später wird es dem Leser recht klar, daß Rieß nur gegen den Mißbrauch der Formel kämpft, die am Ende doch auf derselben Vorstellung über die Wirkung des Condensators beruht, welche er selbst entwickelt. Zum Theil geht die Polemik gegen die Formel auf einen Wortstreit hinaus.

Gehen wir nun zu den Versuchen über, welche Rieß anstellte, um die Wirkungsweise des Condensators zu erläutern und zu ermitteln, welche Umstände auf die Condensationsfähigkeit des Instrumentes von Einfluß sind.

Zwei ebene Messingscheiben, 87,6 Linien im Durchmesser, $^{17}/_{24}$''' dick,

mit abgerundeten Rändern, wurden auf einer Seite und zwar gerade in der Mitte mit 15 Linien langen, 11 Linien dicken cylindrischen Ansätzen versehen. Diese Fortsätze sind in der Axe durchbohrt, so daß darin ein Zuleitungsdraht mittelst einer Klemmschraube befestigt werden kann. Winkelrecht auf ihrer Axe haben diese Ansätze eine Höhlung, in welcher ein etwas über 8 Zoll langer, mit Schellack überzogener Glasstab eingekittet ist. Diese die Scheiben tragenden Glasstäbe stehen vertikal auf einem horizontalen Brette, wie dies die schematische Figur 43 zeigt.

Fig. 43.



Die eine Scheibe *A*, die vertheilte oder die Condensatorplatte, läßt sich durch ein Charnier am unteren Ende ihres Glasstabes ganz umlegen. Die vertheilende Scheibe *B*, auch Collectorplatte genannt, steht auf einem Schlitten, so daß sie *A* nach Belieben genähert und die Entfernung mit Genauigkeit gemessen werden kann.

Die Condensatorplatte *A* war während des Gebrauches durch einen Metalldraht zu den Gasröhren des Hauses abgeleitet.

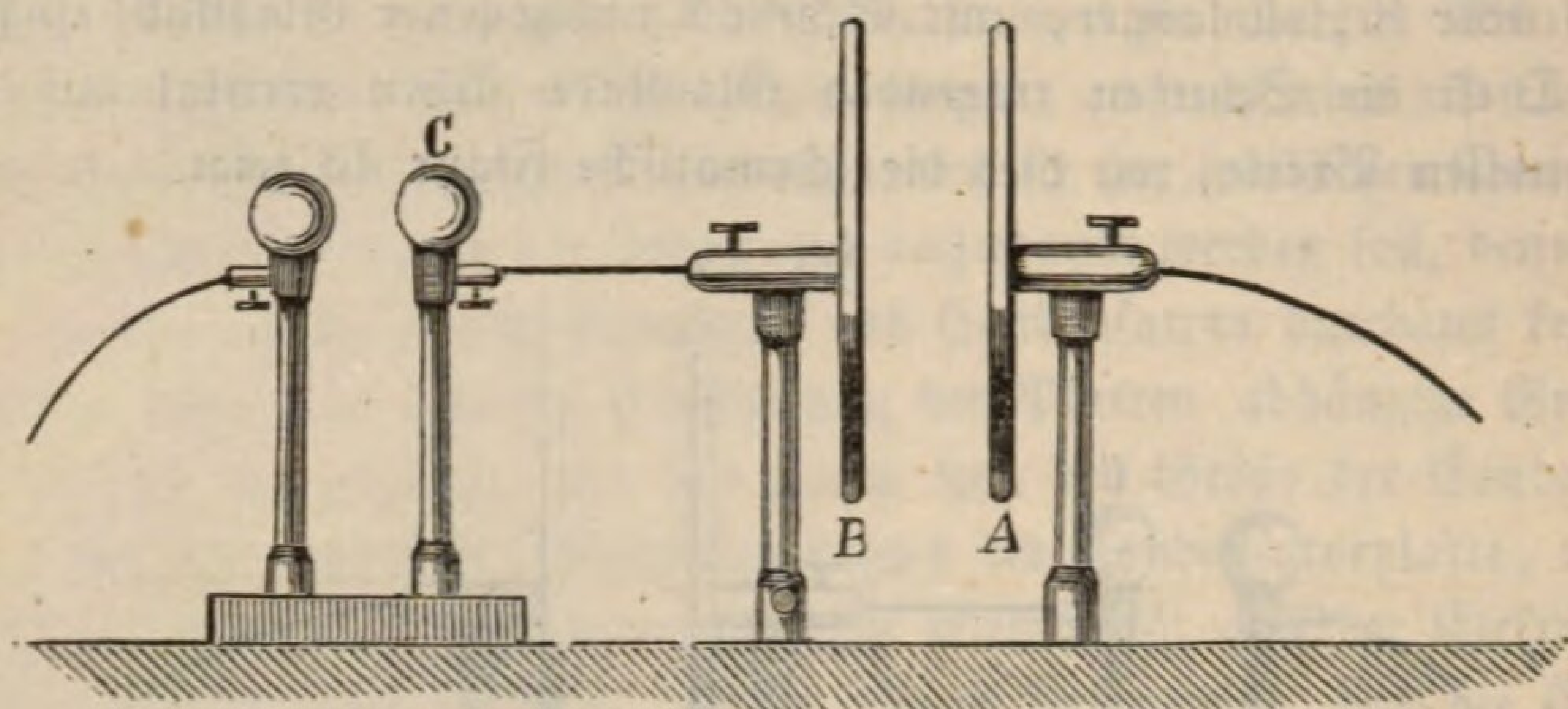
Die Collectorplatte *B* ist durch einen Metalldraht mit der einen Kugel eines Funkenmikrometers verbunden, dessen andere Kugel zu den Gasröhren des Hauses abgeleitet ist.

A wurde nun umgelegt, so daß also *B* allein stand, und dann *B* durch Berührung mit dem Knopfe einer Leidener Flasche elektrisirt. Die Elektricität verbreitet sich nun frei über das ganze isolirte System, also über die Platte *B* und die mit ihr verbundene Kugel des Funkenmikrometers. Die Schlagweite der hier befindlichen Elektricität wurde nur durch allmälige Annäherung der andern Kugel des Funkenmikrometers gemessen. Ein Versuch gab beispielsweise die Schlagweite 1,475‴.

Die bewegliche Kugel des Funkenmikrometers wurde nun wieder zurückgeschoben, die Platte *B* auf dieselbe Weise wie vorher geladen, alsdann die Scheibe *A* aufgerichtet und *B* bis auf zwei Linien genähert; nun

wirkt B vertheilend auf A, in A häuft sich $-E$ an, die bindend*) auf B zurückwirkt und eine andere Anordnung der Elektricität in dem ihr gegenüber stehenden Systeme veranlaßt, die Elektricität sammelt sich nämlich mehr in A und ihre Dichtigkeit in der Kugel C wird vermindert, wie

Fig. 44.



sich dies aus der verringerten Schlagweite ergiebt, denn als jetzt die andere Kugel des Funkenmikrometers bis zum Ueberschlagen eines Funkens genähert wurde, ergab sich die Schlagweite 0,150. Durch die Annäherung der Condensatorplatte ist also die Elektricit in A angehäuft, ihre Dichtigkeit in C dagegen vermindert und zwar im Verhältniß von 1,475 zu 0,150, oder sie ist im letzten Falle nur noch 0,102 von der früheren.

Die elektrische Ladung, welche die Flasche an die Platte abgeben konnte, war in beiden Fällen nicht ganz gleich, denn abgesehen von dem Verlust

*) Rieß vermeidet es in seinem ganzen Aufsatze, den Ausdruck »gebundene Elektricität« anzuwenden, wohl aus keinem andern Grunde, als weil man mit dem Ausdrucke eine falsche Vorstellung verband. Der Ausdruck »gebundene Elektricität« läßt sich aber sehr wohl mit einer richtigen Vorstellung von ihrem Wesen vereinigen, und deshalb bin ich nicht der Meinung, einen Ausdruck zu verbannen, der schon so sehr in die Gewohnheit übergegangen. Ueberhaupt sind doch die falschen Vorstellungen über gebundene Elektricität nicht so verbreitet, wie Rieß zu glauben scheint; ich hatte nie eine andere Ansicht, als die, welche er vertritt, und gegen die Darstellung dieser Materie in meinem Lehrbuche der Physik dürfte Rieß, wenn er nicht an einzelnen Worten Anstoß nimmt, schwerlich viel auszusetzen finden, namentlich sind die Bemerkungen auf der untern Hälfte der Seite 414 des ersten Bandes der ersten Auflage (3te Aufl. 2r Bd. Seite 97 unten) geeignet, jeden Zweifel über den wahren Sachverhalt zu entfernen, und doch war mir zur Zeit, als ich jene Stelle schrieb, der Rieß'sche Aufsatz und der ganze Streit über das Wesen der gebundenen Elektricität noch unbekannt, sonst hätte ich jedenfalls des auf Seite 34 dieses Berichtes beschriebenen zweckmäßigen Versuchs gebührende Erwähnung gethan; auch hätte ich es hier und da mit einigen Ausdrücken schiefer genommen, als es, da ich jenen Streit noch nicht kannte, bei voller Unbefangenheit geschehen ist.

an Ladung, welche die Flasche in der Zeit zwischen der ersten und der zweiten Berührung erlitt, hat sie ja bei der ersten Berührung schon Elektricität an die Platte abgegeben, bei der zweiten Berührung mußte also ihre Ladung, wenn auch nicht bedeutend, geringer seyn. Um diese Ungleichheit der Elektricitätsmenge zu corrigiren, machte Rieß eine ganze Reihe von Versuchen, immer abwechselnd mit und ohne Condensatorplatte, und verglich dann die Schlagweite jedes Versuchs mit der unmittelbar vorhergehenden in folgendem. Die Resultate einer solchen Versuchsreihe sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

Entfernung der Scheiben 2 Linien.

Schlagweite in pariser Linien.

Ohne Condensatorplatte.	Mit Condensatorplatte.	Mittel.	Verhältniß.
1,475			
	0,150	1,406	0,106
1,337		0,142	0,106
	0,135	1,303	0,104
1,270		0,132	0,104
	0,130	1,244	0,105
1,219		0,128	0,105
	0,126		0,105

Wenn man also mit 1 die Dichtigkeit der Elektricität auf *C* bezeichnet, welche sich auf diese Kugel verbreitet, wenn der Platte *B* eine elektrische Ladung ertheilt wird, während *A* entfernt blieb, so wird, wenn die abgeleitet berührte Condensatorplatte bis auf 2 Linien der Platte *B* genähert wird, die Elektricität mehr von *C* nach *B* hingezogen, und dadurch die Dichtigkeit der Elektricität auf *C* bis auf 0,105 vermindert.

Der Einfluß, welchen die Condensatorplatte *A* auf die Vertheilung der Elektricität auf das gegenüberstehende isolirte System *B C* ausübt, hängt natürlich von der Entfernung zwischen *A* und *B* ab; je weiter *A* von *B* entfernt bleibt, desto weniger wird bei seiner Annäherung die Dichtigkeit auf *C* vermindert.

Aus mehreren Versuchsreihen, ganz so angestellt, wie die oben angeführten fand Rieß für verschiedene Entfernungen der Condensatorplatte folgende Schlagweiten an der Kugel *C*, die Schlagweite für ganz entfernte Condensatorplatten gleich 1 gesetzt.

Entfernung der Platten	2‴	5‴	10‴	20‴	30‴	50‴	∞
Schlagweite an der Kugel	0,105	0,272	0,451	0,687	0,794	0,914	1

Angenommen, daß am Knopfe *C* des normalen Zuleitungsdrahtes eine Ausströmung der Elektricität am frühesten stattfindet, so wird auf der Platte so lange eine Ansammlung der Elektricität stattfinden können, als die Schlagweite am Knopfe eine bestimmte Größe nicht überstiegen hat. Setzen wir diese Grenzdichtigkeit auf *C* gleich 1. Nehmen wir an, das isolirte System sey bei freistehender Platte *B* bis zu dieser Grenze geladen. — Nun wird die Condensatorplatte genähert, dadurch die Elektricität mehr nach der Platte *B* hingezogen, ihre Dichtigkeit auf *C* also (wir wollen annehmen auf $\frac{1}{n}$) vermindert, so ist klar, daß man dem ganzen isolirten Systeme $n$mal so viel Elektricität als früher zuführen kann, bis auf *C* wieder die Dichtigkeit 1 erreicht ist, der Apparat kann also jetzt, bei genäherter Condensatorplatte, $n$mal so viel Elektricität aufnehmen als vorhin.

Bei den obigen Versuchen wurde die Dichtigkeit der Elektricität auf *C* durch Annäherung der Condensatorplatte bis 2‴ auf 0,105 oder $\frac{1}{9{,}5}$ vermindert, dadurch wird also auf die Platte *B* eine 9,5mal so starke Ansammlung der Elektricität möglich als ohne Condensatorplatte.

Für die verschiedenen Entfernungen der Condensatorplatte wird also bei obigen Versuchen eine Vermehrung der Dichtigkeit auf der Collectorplatte in folgendem Verhältniß möglich.

Entfernung der Platten	2‴	5‴	10‴	20‴	30‴	50‴	∞
Mögliche Vermehrung der elektr. Dichtigkeit auf der Collectorplatte	9,5	3,67	2,21	1,45	1,25	1,09	1

Dies ist die richtige Darstellung der Wirkungsweise condensirender Apparate. Allerdings hatte man auch schon früher eine richtige Ansicht über den Hergang, sie war aber nicht so scharf und klar ausgesprochen.

Bei diesen Versuchen war *C* mit *B* durch einen 8″ 5‴ Zoll langen Draht verbunden. Als statt dessen ein 18″ 3‴ langer Draht angewandt wurde, ergaben sich fast genau dieselben Verhältnißzahlen der Schlagweite für freistehende Collectorplatte und genäherte Condensatorplatte.

Wenn man also das leitende System der Collectorplatte mit einer constanten Elektricitätsquelle in Berührung bringt, so wird man auf der Collectorplatte *B*, 2,21 — 1,45 — 1,25 u. s. w. mal mehr Elektricität anhäufen können, wenn die ableitend berührte Condensatorplatte *A* 10‴ 20‴, 30‴ weit von *B* absteht, als wenn sie gar nicht da ist.

Rieß suchte die Vermehrung der Elektricitätsmenge auf die Collectorplatte durch die Annäherung der Condensatorplatte unter den obigen Umständen, d. h. wenn die Collectorplatte während der Annäherung der Condensatorplatte mit einer constanten Elektricitätsquelle in Verbindung blieb, durch directe Versuche zu bestimmen, die er in folgender Weise anstellte.

Zuerst wurde mit dem Knopf einer Leidner Flasche die Kugel *C* berührt, während die Condensatorplatte ganz entfernt blieb, die Flasche entfernt und die Schlagweite bei *C* gemessen.

Dann wurde die ableitend berührte Condensatorplatte in einer bestimmten Entfernung aufgestellt, *C* abermals mit dem Knopf der Leidner Flasche berührt, Flasche und Condensatorplatte entfernt, und abermals die Schlagweite bei *C* gemessen.

So viel mal im letzten Falle die Schlagweite größer gefunden wird als im ersten, um so viel mal mehr Elektricität hat im letzteren Falle die Platte *B* aufgenommen als im ersten.

Eine Reihe von Versuchen ergab im Mittel folgende Elektricitätsmengen für die verschiedenen Entfernungen der Platten.

Entfernung der Platten . . .	10‴	20‴	30‴	50‴	∞
Aufgenommene Elektricitätsmenge	2,33	1,52	1,31	1,11	1

Der Unterschied dieser direct gefundenen Zahlen mit den aus den ersteren Versuchen berechneten Verdichtungszahlen, ist in der That sehr gering.

Für kleinere Entfernungen als 10″ konnten nicht wohl Versuche mit Sicherheit angestellt werden.

Das Verhältniß der Elektricitätsmenge der Collectorplatte, je nachdem sie bei der Berührung allein gestanden, oder in der Nähe der Condensatorplatte, heißt **Verstärkungszahl** des Condensators. Nach obigen Versuchen ist also 2,21 — 1,45 u. s. w. die Verstärkungszahl des Condensators, wenn die Platten 10‴, 20‴, u. s. w. abstanden.

Wir werden alsbald sehen, daß die Verstärkungszahl des Condensators durchaus nicht allein von der Entfernung der Platten abhängt.

Die Bestimmung der Dichtigkeit der Elektricität auf *c* mittelst des Funkenmikrometers macht den Hergang allerdings recht anschaulich, eignet sich aber nicht zu genauen Bestimmungen, weil die abgeleitete Kugel des

Funkenmikrometers Einfluß auf die Vertheilung der Elektricität auf der gegenüberstehenden hat. — Statt des Funkenmikrometers läßt sich aber auch jede andere Methode der Messung der elektrischen Dichtigkeit auf C anwenden.

Zu einer genaueren Versuchsreihe wandte Rieß die Torsionswage an. Er fand auf diese Weise, daß wenn dem isolirten Systeme CB eine elektrische Ladung mitgetheilt worden ist (die abgeleitete Kugel des Funkenmikrometers war entfernt), während die Condensatorplatte entfernt war und man mit 1 die elektrische Dichtigkeit bezeichnet, welche sich auf C befindet, so wird bei Annäherung der Condensatorplatte auf verschiedene Entfernungen die Dichtigkeit auf c in folgendem Verhältniß verringert.

Entfernung der Platten	2‴	3‴	4‴	5‴	10‴	15‴	20‴	50‴	∞
Dichtigkeit auf C	0,173	2,35	2,86	3,35	0,492	0,595	0,683	0,897	1

Diese Resultate stimmen recht gut mit den frühern, mittelst des Funkenmikrometers erhaltenen, überein.

Als der Verbindungsdraht zwischen B und C verkürzt worden war, wurden folgende schon ziemlich abweichende Zahlen gefunden.

Entf. d. Scheiben	2‴	3‴	4‴	5‴	10‴	15‴	20‴	50‴	∞
Dichtigkeiten	0,1 5	0,219	0,274	0,306	0,488	0,630	0,688	0,888	1

Auf der Rückseite der Collectorplatte wird durch Annäherung der Condensatorplatte die elektrische Dichtigkeit vermindert. Rieß fand, daß auf der Rückseite der Collectorplatte, nahe am Rande derselben, die Dichtigkeit der Elektricität bei Annäherung der Condensatorplatte in folgendem Verhältniß vermindert wurde.

Entf. d. Scheiben	2‴	3‴	4‴	5‴	10‴	15‴	20‴	50‴	∞
Dichtigkeiten	0,260	0,341	0,412	0,460	0,617	0,713	0,628	0,941	1

Man sieht also, daß auf der Rückseite der Collectorplatte nahe am Rande die Dichtigkeit der Elektricität durch Annäherung der Condensatorplatte

weit weniger verringert wird, als am Ende C des in der Mitte normal aufgesetzten Zuleitungsdrahtes; die Verstärkungszahl des Condensators wird also eine geringere seyn, wenn der zu untersuchende Körper an den Rand, als wenn er in der Mitte der Collectorplatte angelegt wird*).

Größere Condensatorplatten lassen eine größere Condensation der Elektricität zu als kleinere, wie dies schon Munk of Rosenschöld gezeigt hat.

Mit Platten von 52''' Durchmesser wurden Versuche möglichst unter denselben Umständen angestellt, wie sie bei obigen Versuchsreihen waren, namentlich war die normale Ableitung der Collectorplatte in beiden Fällen dieselbe. Es wurde nur die Verminderung der elektrischen Dichtigkeit beobachtet, welche bei Annäherung der Condensatorplatte am Ende des normalen Zuleitungdrahtes (also an der Kugel C?) stattfindet. In folgender Tabelle sind die mit der kleinen Platte erhaltenen Resultate mit der entsprechenden, an der größern erhaltenen, zusammengestellt.

Entfernung der Scheiben	2'''	3'''	4'''	5'''	10'''	15'''	∞
Dichtigkeit an der Ableitung des kleinen Condensators	0,232	0,330	0,393	0,443	0,688	0,768	1
Dichtigkeit an der Ableitung des großen Condensators	0,155	0,219	0,274	0,306	0,488	0,630	1

Man sieht also, daß die Dichtigkeit der Elektricität an der normalen Ableitung der kleinen Platte durch Annäherung der Condensatorplatte nicht so stark vermindert wird, als bei Anwendung größerer Platten, daß also auch bei Condensatoren mit größeren Platten eine stärkere Verdichtung der Elektricität auf der Vorderseite der Collectorplatte selbst möglich ist, als bei kleineren.

Die Dichtigkeit der Elektricität auf die Collectorplatte hängt auch ab von der Art und Weise, wie die Condensatorplatte abgeleitet ist.

*) Dieser Schluß scheint mir nicht ganz richtig. Die Versuche beweisen, daß, wenn man die constante Elektricitätsquelle bei C anhält, alsdann die Verstärkungszahl größer ausfällt, als wenn man mit der constanten Elektricitätsquelle die Rückseite der Collectorplatte nahe am Rande berührt. Daß es aber einerlei ist, ob man mit der constanten Elektricitätsquelle die Kugel C oder direct die Mitte der Collectorplatte berührt, ist noch nicht bewiesen, und dies hätte bewiesen seyn müssen, wenn obige Aussage wahr seyn soll.

Bei den letzten mit den kleinen Platten angestellten Versuchen war die Ableitung der Condensatorplatte normal auf ihre Ebene; nun wurde aber der Ableitungsdraht an die Seite des Plattenfortsatzes angebracht, so daß derselbe ungefähr 5''' von der Platte entfernt, mit der Ebene derselben parallel lief. (Aus dieser Beschreibung ist mir die Anwendung nicht recht klar geworden. M.)

Es wurde nun die Dichtigkeit der Elektricität am normalen Fortsatze der Collectorplatte für verschiedene Entfernungen des Condensators beobachtet, und die Resultate mit denen zusammengestellt, die bei normaler Ableitung der Condensatorplatte erhalten worden war.

Entfernung der Scheiben	2'''	3'''	4'''	5'''	10'''	∞
Dichtigkeiten (parallele Ableitung)	0,190	0,269	0,340	0,408	0,597	1
Dichtigkeiten (normale Ableitung)	0,232	0,393	0,393	0,443	0,688	1

Bei parallel mit der Condensatorplatte laufenden Ableitungsdrahte findet sich für jede Entfernung der Platten eine geringere Dichtigkeit an der normalen Ableitung der Collectorplatte, als wenn die Ableitung der Condensatorplatte normal ist; bei paralleler Ableitung der Condensatorplatte ist also der Condensator einer stärkern Ansammlung der Elektricität fähig, als bei normaler Ableitung derselben.

Rieß suchte nun auch die Menge der auf der Condensatorplatte gebundenen Elektricität zu bestimmen. Ich begnüge mich hier, nur die Resultate seiner Versuche mit dem großen Condensator anzuführen. Bezeichnet man mit 1 die Elektricitätsmenge auf der Collectorplatte, so fanden bei verschiedener Entfernung der Platten folgende Elektricitätsmengen auf dem Condensator Statt.

Entfernung d. Scheiben	2'''	3'''	4'''	5'''	10'''	15'''	20'''	50'''
Menge d. gebundenen Elektricität a. d. Condensatorplatte	0,911	0,887	0,854	0,823	0,689	0,612	0,500	0,263

27 **Elektrische Wirkungen der Flammen.** Die elektrischen Eigenschaften der Flamme sind von Rieß in einem Aufsatze besprochen worden,

welcher sich in Poggendorff's Annalen Band LXI Seite 545 findet. Im Eingange giebt er historische Notizen über früher schon gemachte Erfahrungen und Ansichten, die über diesen Gegenstand sprechen. Wir wollen hier nur bemerken, daß schon Gilbert und Kircher die elektrischen Wirkungen der Flamme kannten; Priestley bewies durch Versuche, daß die Flamme die Elektricität leite, und Volta vergleicht die elektrische Wirkung der Flammen mit der Wirkung metallischer Spitzen.

In der That läßt sich die elektrische Wirkung der Flammen kurz so charakterisiren: Wenn ein elektrisirter Leiter mit einer Flamme versehen wird, so verliert er alsbald seine Elektricität, die Elektricität strömt durch die Flamme aus, wie durch eine auf dem elektrisirten Leiter angebrachte Spitze; bringt man dagegen eine Flamme in die Nähe eines elektrischen Körpers, so saugt die Flamme die Elektricität gleichsam ein, wie dieß auch eine metallische Spitze, wenn gleich in weit geringerem Maaße, thut. Setzt man eine Flamme auf den Knopf einer Leidner Flasche, welche in der Nähe einer gedrehten Elektrisirmaschine steht, so ladet sich die Flasche, als ob man den Knopf mit dem Conductor der Maschine verbunden hätte. — Volta brachte brennenden Schwamm an seinen Elektroscopen an, um gleichsam die Luftelektricität einzusaugen.

Obgleich Volta richtig erkannte, daß die Flamme leitend sey, und daß sie in ähnlicher Weise wirkt wie metallische Spitzen, obgleich er also die Elemente einer richtigen Erklärung auch richtig erkannt hätte, so waren doch seine Ansichten über die Wirkung der Spitzen selbst zum Theil irrig, indem er glaubte, daß bei Spitzen das Ausströmen sowohl als auch das Einsaugen der Elektricität eine Folge des elektrischen Windes sey. Bei der Flamme soll der aufsteigende Luftstrom die Wirkung des elektrischen Windes ersetzen.

Bei stärkerer Ladung der Spitzen tritt freilich der elektrische Wind auf und begünstigt auch das Ausströmen und Einsaugen der Elektricität, allein die Wirkung der Spitzen wird keineswegs durch diesen Wind bedingt, sie findet schon Statt bei elektrischen Ladungen, die zu schwach sind, um den elektrischen Wind hervorzubringen.

Nach Volta's Erklärung findet bei der elektrischen Wirkung der Flamme eine wirkliche Mittheilung von Elektricität Statt. Daß die ladende und entladende Wirkung der Spitzen nicht immer auf einem unmittelbaren Uebergang der Elektricität beruht, ist bekannt; Rieß sucht dieß nun auch durch Versuche für Flammen darzuthun, er erklärt die Wirkung der Flamme auf folgende Weise.

Von der Flamme strömt fortwährend ein dichter Dampfstrom auf, der sich als zusammenhängende Schicht in die Luft erhebt. Aber er behält diese Form nur bis zu einer geringen Höhe. Indem die Luft von allen Seiten

in den Dampf eindringt, und dieser durch die Glühhitze zersetzt, sich mit Theilen der Luft verbindet, wird die continuirliche Masse vielfach eingeschnitten und zerrissen, und es bleiben von ihm nur Fäden übrig, die sich mehr und mehr verdünnen und in der Luft zerstreuen. Von der die Elektricität leitenden Flamme gehen demnach leitende Fäden aus, die von einander durch die gebildeten nicht leitenden Gasarten, und durch heiße Luft getrennt sind, und nothwendig in Spitzen und Zacken verlaufen. Dies vorausgesetzt hat man die Flamme als einen guten Elektricitätsleiter zu betrachten, der mit einer Menge, nach allen Seiten in die Luft hinausragenden Spitzen versehen ist, und zwar mit solchen, die an Vollkommenheit alle in der Natur vorkommenden Spitzen übertreffen. Ueberträgt man auf diesen Leiter die Erfahrungen, die an unvollkommenen Spitzen gemacht worden sind, so ergeben sich, nach den sonst bekannten Eigenschaften der Elektricität, die elektrischen Wirkungen der Flamme mit Leichtigkeit.

Von einem mit Spitzen versehenen Leiter strömt eine desto größere Menge die ihm mitgetheilte Elektricität aus, je vollkommener seine Spitzen sind; von der Flamme entfernt sich auch die geringste Menge Elektricität. An einer Spitze ist die elektrische Dichtigkeit um vieles größer als an jeder anderen Stelle des Leiters, an den Dampfspitzen der Flamme ist demnach die Dichtigkeit der Elektricität sehr groß; die in den Dampfspitzen angehäufte Elektricität wirkt nun vertheilend auf genäherte isolirte Leiter. Ist an den Stellen des isolirten Leiters, welche den elektrischen Dampfspitzen zunächst liegen, die Anhäufung der angezogenen Elektricität groß genug, so wird sie ausströmen und der Leiter bleibt nur mit der Elektricität geladen zurück, welche von der Elektricität der Flamme abgestoßen wird, also mit ihr gleichnamig ist; der isolirte Leiter bleibt also mit derselben Elektricität geladen, welche die Flamme hat, ohne daß diese Elektricität von der Flamme zu ihm übergegangen wäre.

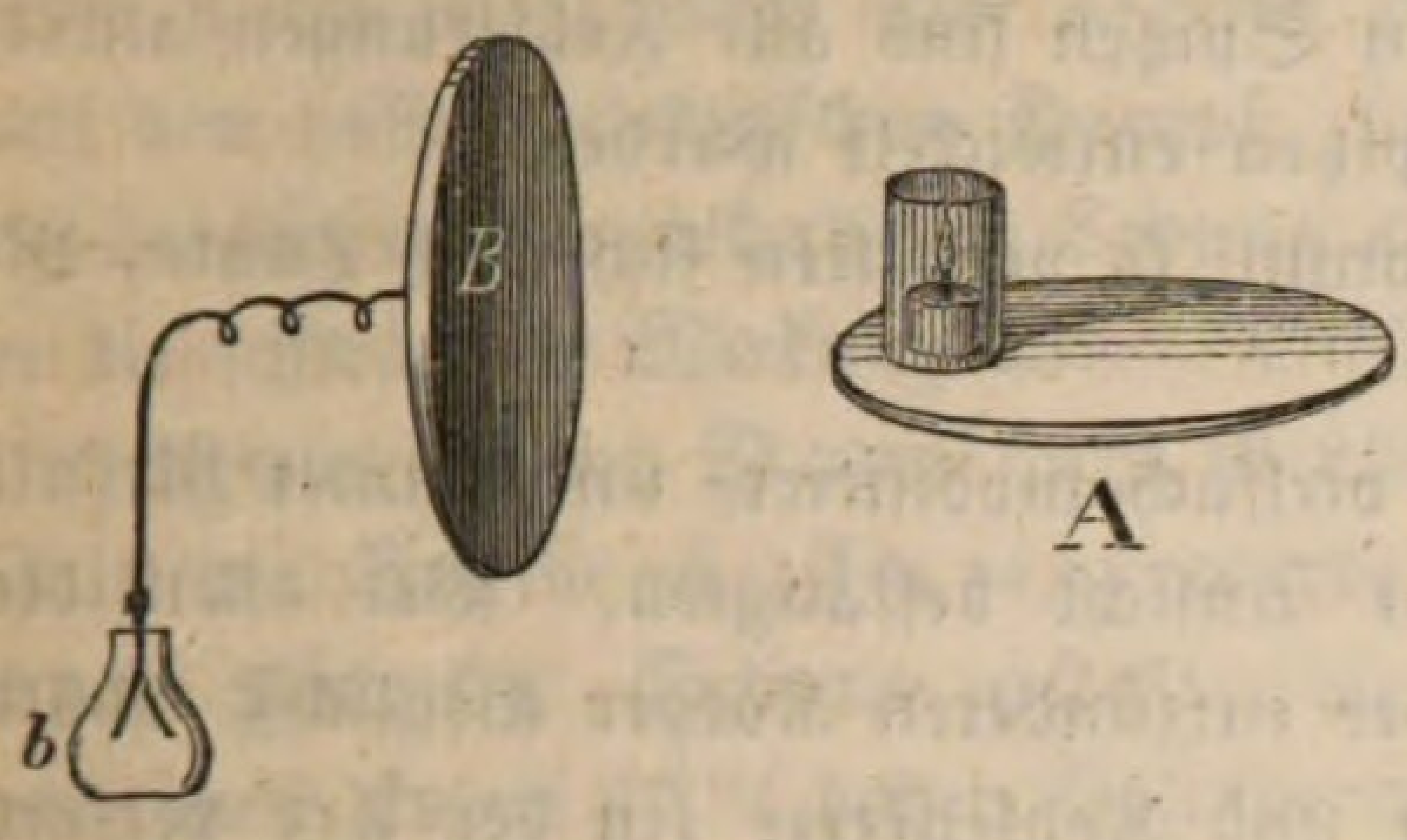
Nähert man umgekehrt der Flamme einen elektrischen Körper, so werden die Dampfspitzen durch Vertheilung elektrisch, aber ihre Elektricität strömt aus und der isolirte Leiter, auf welchem sich die Lampe befindet, bleibt mit derselben Elektricität geladen, welche der genäherte, vertheilende elektrische Körper besitzt, ohne daß diese Elektricität von diesem elektrischen Körper auf den mit der Lampe versehenen Leiter übergegangen wäre.

Diese Ansicht von dem Hergange der Sache ist durch folgenden Versuch gerechtfertigt.

Auf einer gehörig isolirten Kupferscheibe A (3″ 11‴ Durchmesser) stand eine kleine metallene Weingeistlampe, die mit einem 13 Linien hohen Metallcylinder umgeben war. Ungefähr $3\frac{3}{4}$ Zoll von der Lampe entfernt befand sich eine zweite Kupferscheibe B (Fig. 45), die mit dem

Elektroscop b verbunden, und durch einen isolirenden Schellackstiel in einer vertikalen Ebene gehalten wurde. Die Dochtspitze und die Mitte der Scheibe B befanden sich in gleicher Höhe.

Fig. 45.



Wurde nun die Lampe angezündet und A durch Berührung mit dem einen Pol einer trocknen Säule elektrisirt, so zeigte alsbald das Elektroscop b eine Divergenz von 3'''. Da der Dampf von der Flamme gerade aufsteigt, so ist hier eine directe Ueberführung der Elektricität schon unwahrscheinlich; fände sie Statt, so müßte auch A und B nothwendig durch Dämpfe in leitender Verbindung stehen, das Elektroscop b müßte also zusammenfallen, sobald man A ableitend berührt. Bei ableitender Berührung von A fiel aber das Elektroscop b nur auf $2\frac{1}{2}'''$ zusammen, es findet also zwischen B und der Lampe keine leitende Verbindung Statt, und die Ladung von B geschieht also in der oben angedeuteten Weise.

Wurde B elektrisirt, und während die Lampe brannte, A ableitend berührt, so sank das Elektroscop langsam zusammen, blieb aber bei 3''' Divergenz stehen und zeigte selbst nach 2 Minuten noch $2\frac{1}{3}'''$ Divergenz.

Wurde B horizontal über A gehalten, so schlugen die Dämpfe der Lampe an B an, folglich bestand auch eine leitende Verbindung zwischen A und B, in diesem Falle fiel auch, wenn man im übrigen die eben besprochenen Versuche wiederholte, das Elektroscop b alsbald zusammen, wenn A ableitend berührt wurde.

Aus dem Erfolge dieser Versuche ergiebt sich auch, daß die hier wirksamen Dampfspitzen weit über die Flamme und den die Lampe umgebenden Metallcylinder hinausragen, sonst würde ja dieser überragende Metallcylinder die Spitzenwirkung vernichtet haben, wie es in der That bei glimmenden Körpern der Fall ist.

Legt man brennenden Schwamm auf A, hält man B gehörig isolirt horizontal über A, so wird, wenn A durch Berührung mit dem einen Pol einer trocknen Säule elektrisirt wird, das Elektroscop b alsbald divergiren, dieser Erfolg bleibt aber aus, sobald man den brennenden Schwamm mit einem metallischen Cylinder (13''' hoch, 9''' im Durchmesser) umgiebt.

Dies beweist, daß der hier aufsteigende Rauch nicht leitend ist. Die Wirkung des glimmenden Körpers wird also nicht wie die Flamme durch den Dampf bestimmt. An der Stelle, wo die Masse verbrennt, entsteht eine Grube, deren Rand durch die gebildete Kohlensäure u. s. w. vor der Verbrennung geschützt bleibt; wo mehrere solcher Gruben zusammentref-

fen, bleibt ein Höcker unverbrannter Masse stehen; diese Höcker werden bei fortschreitender Verbrennung zugespitzt, und auf diese überall aus dem brennenden Körper hervorragenden Spitzen sind alle Folgerungen anwendbar, welche oben für die Dampfspitzen entwickelt wurden.

Wie der glimmende Feuerschwamm, so verhalten sich auch Lunte, Räucherkerzen u. s. w.

Rieß hat diese Versuche noch vielfach modificirt, und immer Resultate erhalten, welche seine theoretische Ansicht bestätigten. Bei allen diesen Versuchen ist die Verbrennung der entzündeten Körper möglichst vollständig erhalten worden. Schwamm und Kohlenkerze (in der Art verfertigt, wie Rauchkerzen) wurden durch häufiges Blasen angefacht, von Asche gesäubert und die Weingeistlampe nur bei intensiver Verbrennung gebraucht. Mit dieser Vorsicht ist jede Störung der angegebenen Wirkungen vermieden worden. — Wenn dagegen die Verbrennung der untersuchten Körper nicht vollständig ist, so sieht man einen bestimmten Versuch mit der einen Elektricitätsart oft viel leichter und schlagender gelingen, als mit der andern, was bei vollkommener Verbrennung nicht der Fall ist.

Die Scheibe *A* wurde vertikal und der Scheibe *B* parallel gestellt, und dann auf *A* eine Kohlenkerze (kleine Kegel geformt aus Kohlenpulver und etwas Salpeter, welche Stoffe mit Traganthschleim angerührt wurden) befestigt, welche gegen *B* hin gerichtet war.

Als die Kohlenkerze über die Hälfte in Gluth und mit Asche bedeckt war, wurde *A* mit dem einen Pol einer trocknen Säule berührt. War dies der positive Pol, so divergirte das Elektroscop *b* nur langsam und höchstens bis zu 2 Linien; berührt man aber *A* mit dem negativen Pol der trocknen Säule, so divergirte der Elektroscop schnell und mit mehr als 5 Linien.

Im Gegensatz divergirte ein Elektroscop, welches man mit der Kohlenkerze und der Scheibe *A* leitend verband, schneller und stärker, wenn die gegenüberstehende Scheibe *B* positiv, als wenn sie negativ elektrisch gemacht war, es hatte also den Anschein, als ob die negative Elektricität leichter aus der Kerze ausströme, der positive hingegen leichter von ihr aufgesaugt würde.

Rieß erklärt diese sonderbare Erscheinung durch die bekannte Erfahrung, daß bei der Verbrennung der Kohle eine Elektricitätsentwickelung stattfindet, und zwar, wie schon Volta beobachtete, am stärksten bei mäßiger Gluth, bei schwachem Luftzuge und absichtlich verzögerter Verbrennung der Kohle.

Die aufsteigende Kohlensäure ist hierbei positiv, die Kohle negativ elektrisch, die an und für sich schon negativ elektrischen Spitzen müssen also kräftiger wirken, wenn ihnen noch — *E* zugeführt wird, als wenn man

ihnen $+ E$ zuführt, wodurch sich die oben besprochenen Unterschiede der Erscheinung bei positiver und negativer Ladung vollständig erklären.

Die Kohle wirkt durch ihre negativ elektrischen Kohlenspitzen und nicht durch den positiv elektrischen Dampf, sonst müßte man die stärkere Wirkung bei derjenigen elektrischen Ladung erhalten, welche bei obigen Versuchen die schwächere Wirkung gab. Dieser Fall wird jedoch auch beobachtet und zwar an der Davy'schen Glühlampe.

Auf der Scheibe *A*, Fig. 45, wurde eine messingene Glühlampe mit schwach glühender Spirale gestellt; die Lampe, welche 10''' hoch war, wurde mit einem 13''' hohen Cylindermantel aus Kupferblech umgeben; wurde *A* positiv geladen, so divergirte das Elektroscop *b* stärker, als bei negativer Ladung von *A*. Wurde dagegen *A* mit einem Elektroscop versehen und *B* durch Berührung mit dem einen Pol der trocknen Säule geladen, so divergirte das Elektroscop stärker bei negativer Ladung von *B*.

An den eben besprochenen Aufsatze von Rieß hat sich eine Polemik über die elektrische Wirkung der Flammen zwischen Rieß und van Rees angeknüpft (P. A. LXXIII, Seite 41 und 307). van Rees bekämpft zunächst die Existenz der Dampfspitzen. Dabei stützt er sich darauf, daß diese Dampfspitzen nicht sichtbar seyen, wenn man den Schatten der Flamme betrachtet, welchen man erhält, wenn man in eine dunkle Kammer das Licht durch den Beleuchtungsapparat eines Sonnenmikroscops einfallen läßt und die Flamme in den stark divergirenden Lichtkegel bringt.

Dagegen sagt Rieß, wer sich die Dampfspitzen so denkt, daß sie einen Schatten werfen können, der darf sie von vorn herein verwerfen, ohne den erwähnten Versuch anzustellen. Es ist aber eine Thatsache, daß über der elektrisch wirkenden Flamme eine Dampfsäule steht, welche die Elektricität gut leitet, und sich dann in die schlecht leitende Luft verliert; die kalte Luft wird also wohl in die leitende Masse einschneiden und sie auszacken.

In der That hat diese Ansicht die größte Wahrscheinlichkeit für sich, und da van Rees selbst sagt: »eine Flamme ist im Ganzen genommen (also wohl auch die zunächst über ihn befindliche Dampfmasse) als Leiter zu betrachten«, so ist eigentlich kein großer Unterschied mehr zwischen den Ansichten der beiden Physiker und der Streit über diesen Punkt doch fast nur noch ein Wortstreit.

Zur Erklärung der Flammenwirkung geht van Rees ebenfalls von der Spitzenwirkung aus; er sagt, wenn eine Spitze auf den Conductor einer Elektrisirmaschine aufgesetzt wird, so entsteht ein ununterbrochener Strom elektrisirter Luft, die zunächst vertheilend auf die nächsten Leiter wirkt.

Zwei Meter von dem mit einer Spitze versehenen Conductor der Elektrisirmaschine wurde ein Elektroscop aufgestellt; sobald gedreht wurde, divergirten die Blättchen, und diese Divergenz blieb, als der Conductor ent-

laden wurde; trotz dieser bleibenden Divergenz hatte aber das Elektroscop doch keine bleibende Ladung, sondern die Blättchen divergirten noch in Folge der vertheilenden Wirkung der von der Spitze elektrisirten Luft, welcher durch Entladung des Conductors die Elektricität nicht genommen werden kann. Daß das Elektroscop wirklich keine bleibende Ladung hatte, zeigte van Rees dadurch, daß die Pendel sogleich zusammenfielen, als er das Elektroscop in ein Nebenzimmer brachte, sogleich aber wieder divergirten, als er das Instrument an seine alte Stelle setzte. — Bei fortgesetzter Drehung aber verbreiten sich die an der Spitze elektrisirten Lufttheilchen weiter, sie wandern theilweise zum Elektroscop, dem sie auf diese Weise eine bleibende Ladung mittheilen.

Gegen dieses alles ist wohl nichts einzuwenden.

Van Rees überträgt nun diese Ansicht von der Wirkungsweise der Spitzen auf die Wirkung der Flammen; durch die Flamme wird die von ihr aufsteigende Luft geladen und kann dann vertheilend auf benachbarte Leiter wirken. Wenn das Elektroscop *b* bei dem ersten Rieß'schen Versuche, welcher auf Seite 82 besprochen wurde, bleibend elektrisirt schien, so war dies nach Rees also nur eine Folge der vertheilenden Wirkung der elektrischen Luft über der Flamme, welche durch Entladung der Platte *A* nicht entladen werden kann, weil sie ein Isolator ist. — Die vertheilende Wirkung, welche von der Flamme ausgeht, meint Rees, sey viel zu schwach, um in der Platte eines genäherten Elektroscops (also beim Rieß'schen Versuche wohl in der Platte *B*) eine so starke Anhäufung der angezogenen Elektricität zu bewirken, daß ein Ausströmen stattfinden könnte, in Folge dessen das Elektroscop geladen zurückbliebe. Darüber läßt sich aber offenbar nicht allgemein aburtheilen, es hängt dies viel zu sehr von speciellen Verhältnissen, von den Dimensionen der Platte, den Dimensionen des vertheilenden Körpers, der gegenseitigen Entfernung u. s. w. ab.

Der Unterschied zwischen der Ansicht der beiden Physiker ist demnach im Wesentlichen folgender. — Nach Rieß wirkt die aufsteigende, in einzelne Fäden auslaufende leitende Dampfmasse vertheilend auf die benachbarten Leiter; nach van Rees dagegen geht die vertheilende Wirkung von der über der Flamme befindlichen nicht leitenden Luftmasse her, welche durch die leitende Flamme der Elektricität mitgetheilt wird.

Die Wahrheit mögte wohl zwischen beiden Ansichten in der Mitte stehen. Es ist unzweifelhaft, daß über der Flamme eine leitende Dampfsäule sich bildet und höchst wahrscheinlich, daß diese in feine leitende Fäden ausgeht. Ist diese Dampfmasse mit ihren Spitzen elektrisch, so muß sie auch vertheilend auf genäherte Leiter wirken, wie dies die Ansicht von Rieß ist. — Wie weit aber die Dampfsäule leitend bleibt, ist ungewiß; die meisten durch die Verbrennung gebildeten Gase und Dämpfe verlieren

aber bei der Abkühlung ihr Leitungsvermögen; sie werden aber die von der Flamme mitgebrachte Elektricität behalten, und so bildet sich über der elektrisirten Flamme und ihrem leitenden Theile auch eine elektrische nicht leitende Gasmasse, welche ihrerseits ebenfalls vertheilend auf genäherte Leiter wirkt, wie dies die Ansicht von Rees ist.

Es versteht sich von selbst, daß bei starker Elektrisirung die Ueberführung elektrisirter Luft und Staubtheilchen sich der oben besprochenen Vertheilungswirkung hinzugesellt, und leicht den wesentlichsten Theil der Ladung und Entladung bewirken kann.

Petrina hat die elektrische Wirkung der Flamme auf eine ganz eigenthümliche Weise zu erklären gesucht (P. A. LVI. 459); er meint, daß der zur Flamme hinzuströmende Sauerstoff nur bei einem bestimmten elektrischen Zustande eine chemische Verbindung eingehe und diesen Zustand bis auf eine beträchtliche Entfernung von der Verbindungsstelle annehme und behaupte.

Eine Begründung dieser Ansicht hat Petrina jedoch noch nicht gegeben.

Dritter Abschnitt.

Die Leidner Flasche und die Wirkungen des Entladungsschlages

28 **Abria über einige die elektrische Entladung begleitende mechanische Phänomene.** Wenn man den Entladungsschlag einer Leidner Flasche zwischen Spitzen übergehn läßt, und unter den Weg des Funkens eine mit einem feinen Pulver bestreute Glasplatte legt, so beobachtet man nach einigen Entladungen, daß das Pulver sich mit einer gewissen Regelmäßigkeit zu Kurven ordnet.

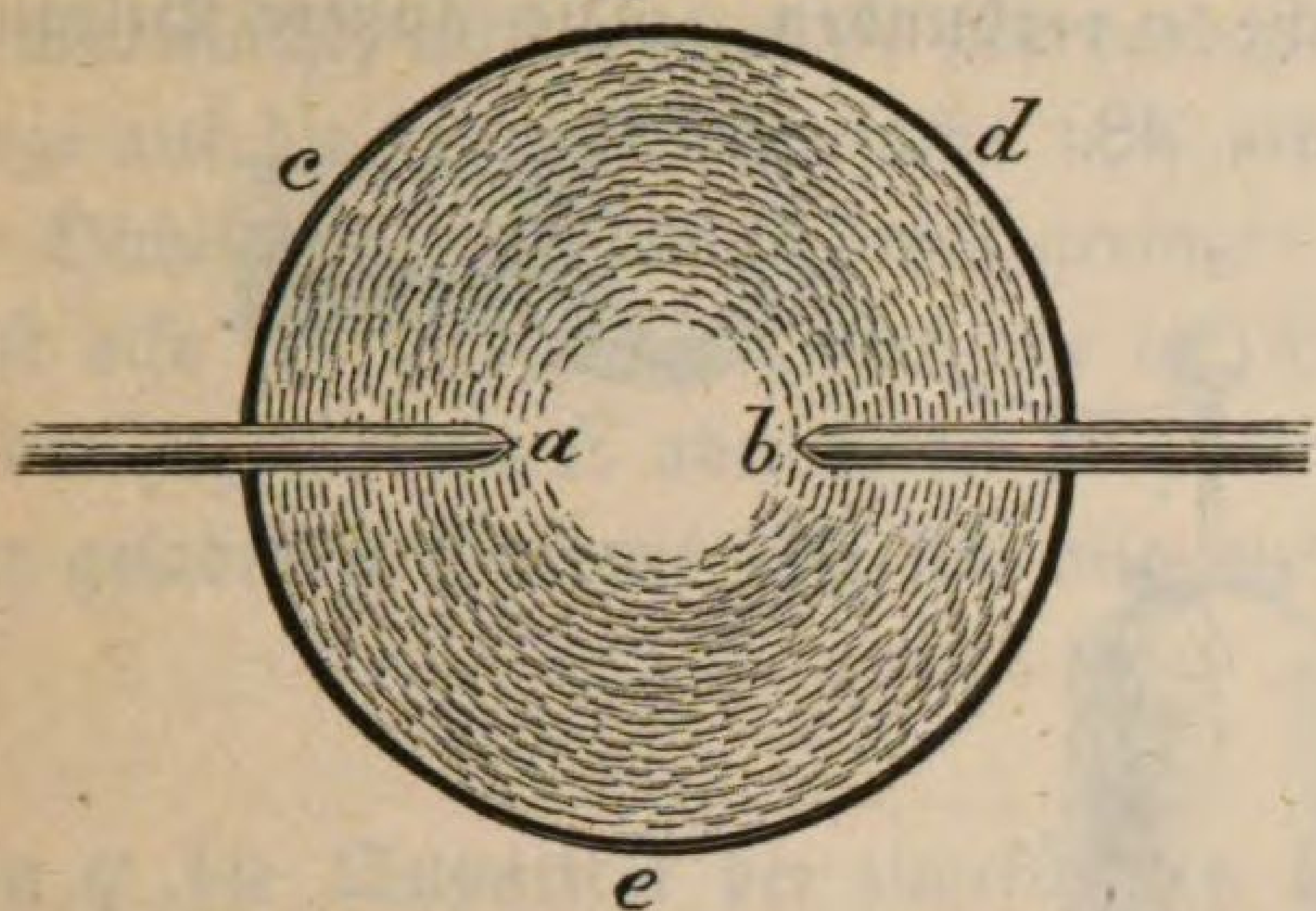
Abria hat diese Erscheinung zuerst beobachtet und beschrieben (Ann. de chim. et de phys. LXXIV. 186. P. A. LIII. 589). Durch die Lesung seiner Abhandlung erhält man aber durchaus keine klare Vorstellung davon, welcher Art jene Kurven sind und dies rührt wohl vorzugsweise daher, daß die Figur, welche dazu dienen soll, die Sache zu erläutern, sich mit dem Text gar nicht in Zusammenhang bringen läßt. Selbst jetzt, nachdem ich das Phänomen durch den Versuch kennen gelernt habe, bleibt mir die Figur, welche der Abhandlung beigegeben ist, noch unverständlich.

Um das Phänomen kennen zu lernen, stellte ich den Versuch selbst an. — Die innere Belegung einer Maaßflasche wurde mit dem Conductor der Maschine verbunden. Auf den Weg, den die Elektricität von der inneren Belegung zur äußeren zu durchlaufen hat, wurde der allgemeine Henley'sche Auslader eingeschaltet. Auf das Tischchen desselben wurde eine Glasplatte gelegt, und diese mit Mennigpulver oder mit Schwefelblüthe, welche gerade zur Hand waren, dünn bestäubt. Das Resultat war für beide Pulverarten dasselbe. Das Pulver ordnete sich ungefähr so wie es Fig. 46 angedeutet ist.

In Fig. 46 sind *a* und *b* die beiden Spitzen, zwischen welchen die Funken überschlagen; unter diesen sieht man von Oben gesehen die Platte

cde, auf welchen das gleichmäßig aufgestreute Pulver in Folge der wiederholten Entladungsschläge sich ungefähr so ordnet, wie es durch Striche angedeutet ist. —

Fig. 46.



Natürlich treten in diese Kurven Modificationen ein, wenn man die Entfernung der Platten von der Linie, welche die Spitzen *a* und *b* verbindet, verändert. Die Kurven sind nicht continuirlich, sondern es sind lauter kurze, abgebrochene Strichelchen, wie man in der Figur sieht, es ist mir deßhalb nicht wohl begreiflich, wie Abria die Natur dieser Kurven so weit untersuchen konnte, um zu entscheiden, daß sie nicht, wie es auf den ersten Anblick scheint, zu Ellipsen gehören, sondern daß sie verwickelter sind.

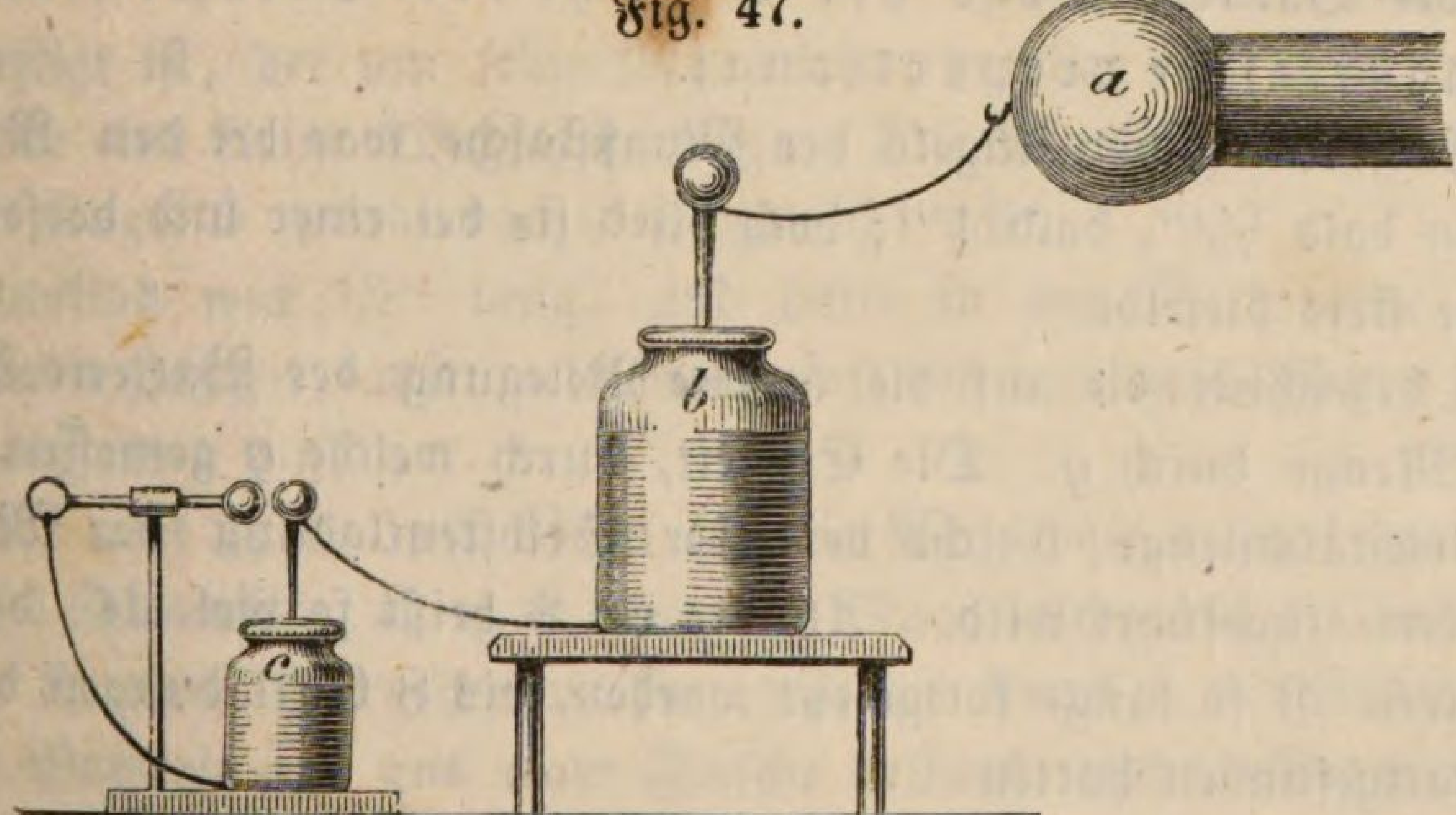
Abria schreibt nun diese Wirkung der mechanischen Erschütterung zu, welche das Ueberschlagen des Funkens in die Luft bewirkt, und unterstützt diese Ansicht dadurch, daß er ähnliche Erscheinungen durch kleine Explosionen hervorbringt.

Läßt man auf einer bepulverten Marmorplatte kleine Seifenblasen, die mit Knallgas gefüllt, explodiren, oder bringt man die Erschütterung durch Aufwerfen von Knallerbsen auf der bestäubten Platte hervor, so erhält man ähnliche Kurven, die jedoch bei Anwendung der Knallerbsen nicht so regelmäßig werden, wie bei den Explosionen kleiner Knallgasblasen.

Maaß für die Ladung der Batterie. Um die Quantität der auf 29
einer Flasche oder einer Batterie angehäuften Elektricität zu messen, wandte Rieß folgendes Verfahren an. (P. A. 40. 321.)

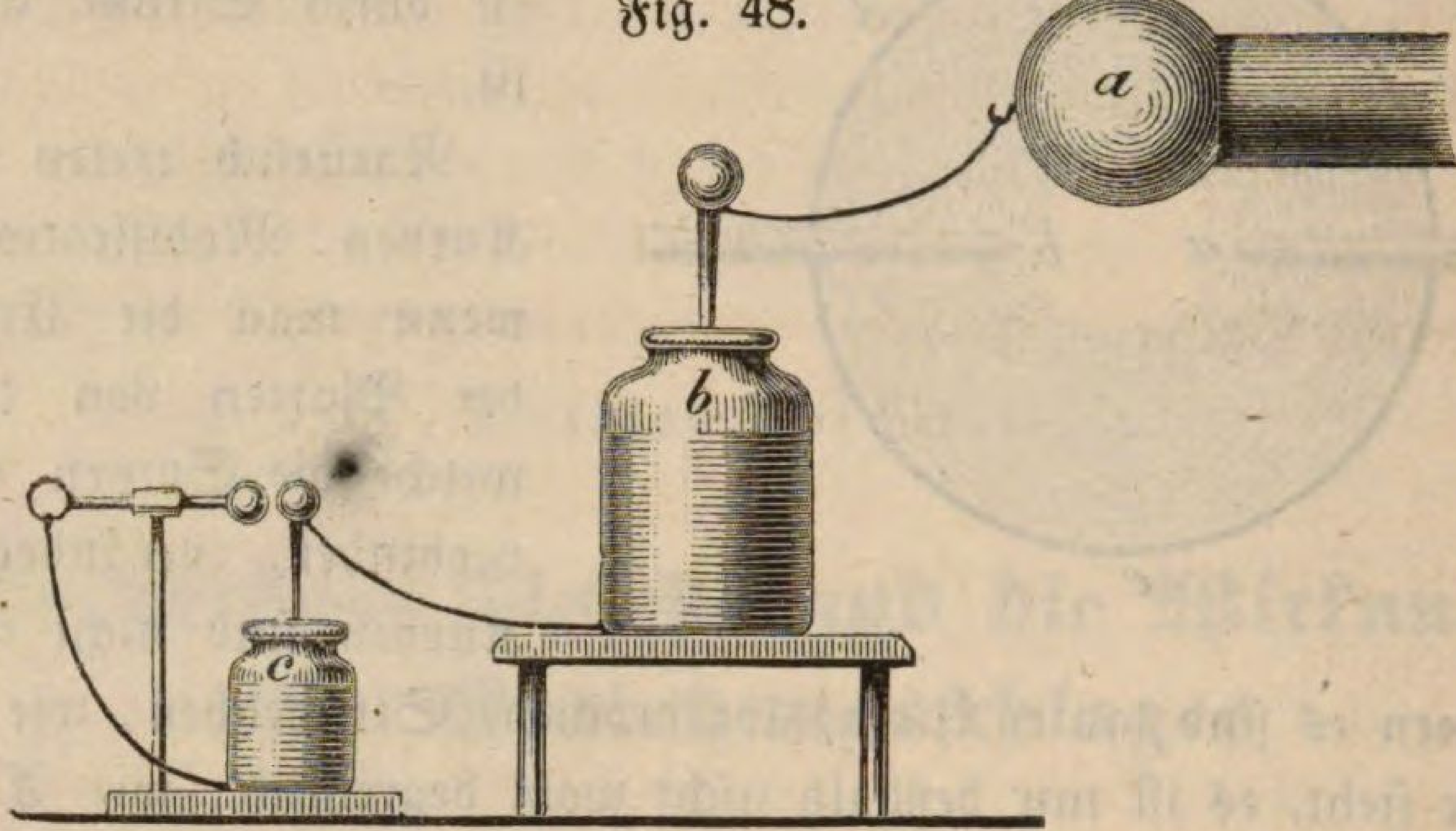
Die zu ladende Flasche oder Batterie *b* Fig. 47, wurde auf einen durch

Fig. 47.



Glasfüße isolirten Tisch gesetzt, und ihre innere Belegung mit dem Conductor *a* der Elektrisirmaschine, die äußeren aber mit der inneren Belegung der Lane'schen Maaßflasche *c* verbunden. Die äußere Belegung

Fig. 48.



der Maaßflasche wurde durch einen hinlänglich dicken Draht mit einer großen Metallfläche (ein Zinkdach) in Verbindung gesetzt, so daß man einer vollkommnen Ableitung versichert seyn konnte.

Wird nun der Batterie von dem Conductor der Maschine her $+E$ zugeführt, so wird die abgestoßene $+E$ von der äußeren Belegung der Batterie zur inneren der Maaßflasche wandern, und die Ladung derselben bewirken; hat aber diese Ladung eine gewisse Grenze erreicht, so erfolgt eine Entladung der Maaßflasche, so daß nun von neuem $-E$ von der inneren Belegung der Maaßflasche zur äußeren der Batterie übergehen kann, weil ja der ursprüngliche Zustand der inneren Belegung der Maaßflasche durch die Entladung bis auf ein unbedeutendes Residuum, welches aber bei allen folgenden Entladungen dasselbe bleibt, wieder hergestellt worden ist. So oft also bei fortgesetztem Drehen der Maschine eine Entladung der Lane'schen Flasche erfolgt, so oft ist auf die äußere Belegung der Batterie dieselbe Menge $-E$ übergegangen, so oft ist also auch die Ladung der Batterie um dieselbe Elektricitätsmenge vermehrt worden, die Ladung der Batterie ist also der Anzahl der Selbstentladungen der Maaßflasche proportional.

Die Entfernung der Kugeln der Maaßflasche war bei den Rieß'schen Versuchen bald ½''', bald 1'''; doch blieb sie bei einer und derselben Versuchsreihe stets dieselbe.

Rieß bezeichnet die auf die äußere Belegung der Batterie übergegangene E Menge durch q. Die Einheit, durch welche q gemessen wird, ist die Elektricitätsmenge, welche bei jeder Selbstentladung der Maaßflasche der Batterie zugeführt wird. Also $q = 8$ heißt so viel als: die Ladung der Batterie ist so lange fortgesetzt worden, bis 8 Entladungen der Maaßflasche stattgefunden hatten.

Die Dichtigkeit der elektrischen Ladung der Batterie hängt nicht allein ab von der Quantität der ihr zugeführten E, sondern auch von der Größe der Oberfläche, auf welcher sie sich verbreitet. Wird dieselbe Elektricitätsmenge auf die doppelte, dreifache u. s. w. Oberfläche verbreitet, so wird ihre Dichtigkeit auch 2mal, 3mal geringer werden, kurz die Dichtigkeit der E ist also der Größe der Oberfläche der Batterie umgekehrt, der Quantität der zugeführten E aber direct proportional, die Dichtigkeit der E auf einer geladenen Batterie läßt sich also ausdrücken durch

$$\frac{q}{s},$$

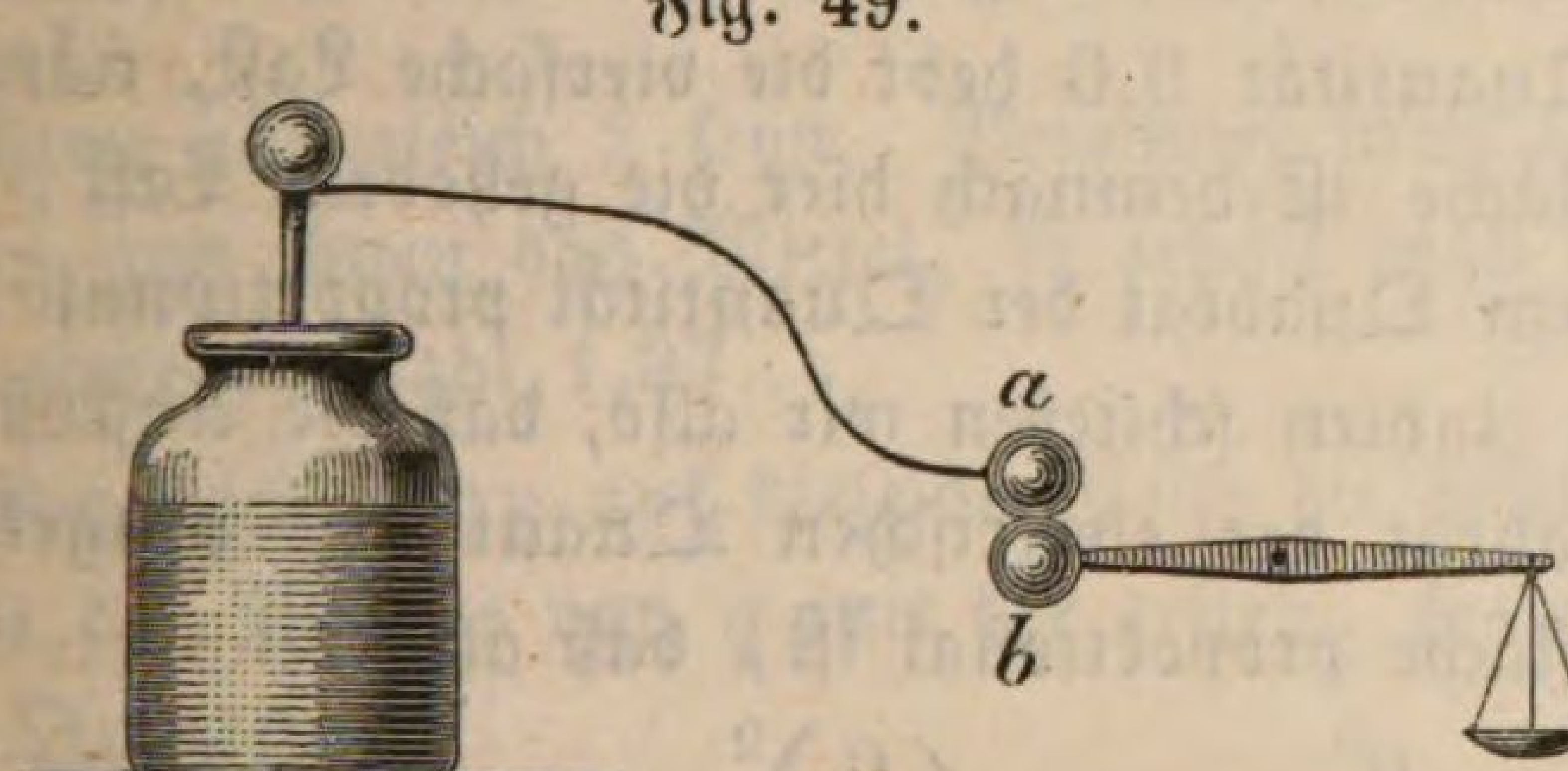
wenn q die Quantität der zugeführten E, s aber die Größe der Oberfläche bezeichnet.

Rieß wandte zu seinen Versuchen Flaschen an, die so viel als möglich gleich waren, so daß die Oberfläche der Batterie der Anzahl der Flaschen proportional ist. Die Oberfläche einer Flasche werde als Flächeninhalt angenommen.

Um genaue Resultate zu erhalten, muß die Ladung der Batterie continuirlich, nicht durch vom Conductor aus überspringende Funken geschehen.

Abstoßung an der inneren Belegung der Batterie. Wenn man 30
mit der inneren Belegung der ersten Flasche einer Batterie einen Draht verbindet, der mit einer Metallkugel endigt, ungefähr so, wie es Fig. 49 angedeutet ist, so wird sich auch auf dieser Kugel die freie Elektricität der innern Belegung der geladenen Batterie verbreiten. — Mit dieser Kugel a sey nun eine zweite Kugel b in Berührung, die an dem einen Ende eines Glasstabes befestigt ist, der um seine Mitte leicht drehbar ist, und an seinem andern Ende eine kleine Wagschale trägt. Die Wagschale ist so belastet, daß sie der Kugel b gerade das Gleichgewicht hält.

Fig. 49.



Der Glasstab war 12″ lang, und hatte in der Mitte eine Fassung mit stählernen Zapfen, mit welchen er auf den rundgeschliffenen Kanten zweier Agatplatten auflag.

Es wurde nun 1, 2, 3, 4 Gran auf die Wagschale gelegt, und ermittelt, welche Quantität E man aus der Maaßflasche auf die äußere Belegung der Batterie übergehen mußte, bis die Kugel b abgestoßen wurde.

Als die Batterie nur aus einer Flasche bestand, und 1 Gran aufgelegt

war, erfolgte die Abstoßung nach 2, als 3 Gran auflagen, erst nach 4 Entladungen der Maaßflasche.

Jeder Versuch wurde 2mal gemacht und aus beiden das Mittel genommen. Dann wurden dieselben Versuche auch mit einer Batterie von 2, 3 . . . bis 5 Flaschen wiederholt. Die Resultate dieser Versuche sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

s	1	2	3	4	5
p	q	q	q	q	q
1	2,0	4,5	7,0	8,7	10,0
2	3,5	6,0	10,0	12,0	15,5
3	4,0	7,7	11,7	15,0	20,0
4	4,5	9,0	13,3	17,7	24,0

Die Quantität 4,5 hebt dieser Tabelle zufolge eine Last von 4 Gran, wenn nur 1 Flasche angewendet wird, während dieselbe Quantität 4,5 auf 2 Flaschen vertheilt, nur 1 Gran hebt; der Effect ist also (bei gleicher Quantität) dem Quadrat der Oberfläche umgekehrt proportional, da ja bei doppelter Oberfläche eine 4mal geringere Wirkung entsteht.

Betrachten wir die Versuchsreihe mit 2 Flaschen. Die Quantität 4,5 hebt 1 Gran, die doppelte Quantität 9,0 hebt die vierfache Last, nämlich 4 Gran; bei gleicher Oberfläche ist demnach hier die gehobene Last, also die Stärke der Abstoßung, dem Quadrat der Quantität proportional.

Aus den eben betrachteten Zahlen schließen wir also, daß die Abstoßung der Kugeln direct dem Quadrat der elektrischen Quantität, umgekehrt aber das Quadrat der Oberfläche proportional ist, daß also

$$p = a\,\frac{q^2}{s^2} = a\left(\frac{q}{s}\right)^2,$$

oder daß die Abstoßung der Kugeln dem Quadrat der Dichtigkeit der E proportional ist, da ja $\frac{q}{s}$ diese Dichtigkeit bezeichnet.

Wir haben dies Gesetz aus drei willkürlich ausgesuchten Beobachtungen abgeleitet, wir müssen noch zeigen, wie weit auch die übrigen Beobachtungen damit übereinstimmen.

Diesem Gesetze zufolge wird bei gleicher Flaschenzahl die doppelte elektrische Quantität die 4fache Wirkung hervorbringen; es müssen also die Werthe von q, welche in der untersten Horizontalreihe stehen, doppelt so groß seyn, als die in derselben Vertikalreihe zu oberst stehenden Werthe

von q. Dies ist jedoch nur für die mit 2 überschriebene Vertikalreihe streng wahr; die Quotienten

$$\frac{4,5}{2} = 2,25; \quad \frac{13,3}{7} = 1,90; \quad \frac{17,7}{8,7} = 2,03; \quad \frac{24}{10} = 2,40$$

weichen mehr oder weniger von 2 ab. Nimmt man aber aus allen 5 Quotienten (den Quotienten $\frac{9,0}{4,5} = 2$ mitgerechnet) das Mittel, so erhält man die Zahl 2,11, welche in der That sehr nahe gleich 2 ist.

Die Quotienten, welche man erhält, wenn man mit dem Werthe von q in der obersten Horizontalreihe in die unter ihnen der zweiten dividirt, sollten nach dem Gesetz $= \sqrt{2} = 1,41\ldots$ seyn. Das Mittel aus den 5 Quotienten ist 1,48.

Wenn man auf dieselbe Weise die Zahlen der ersten und dritten Horizontalreihe vergleicht, so erhält man als Mittel aus den 5 Quotienten den Werth 1,82, während dem Gesetz zufolge dieser Quotient $\sqrt{3} = 1,73\ldots$ seyn sollte.

Da nach dem oben ausgesprochenen Gesetze die Abstoßung dem Quadrate der Dichtigkeit proportional ist, so muß bei gleicher Wirkung, also bei gleichem Werthe von p die elektrische Quantität im Verhältniß der Fläche wachsen; die Zahlen der mit 2 überschriebenen Vertikalreihe müssen also doppelt so groß seyn, als die in gleicher Horizontalreihe unter 1 stehenden; oder mit andern Worten, die Quotienten $\frac{4,5}{2}$, $\frac{6,0}{3,5}$, $\frac{7,7}{4,0}$, $\frac{9,0}{4,5}$ müßten alle gleich 2 seyn. Berechnet man diese Quotienten, nimmt man dann aus ihnen das Mittel, so erhält man die in der That wenig von 2 abweichende Zahl 1,97.

Vergleicht man auf dieselbe Weise die dritte, vierte und fünfte Vertikalreihe der Werthe von q mit der ersten, so erhält man als Mittelwerthe die Quotienten

	3,05	3,84	4,94
statt	3	4	5

Man sieht, daß die Mittelzahlen ziemlich gut mit dem Gesetz harmoniren.

Schon durch Coulomb's Versuche ist bewiesen, daß zwei isolirte Leiter, welche in Berührung sind, nachdem sie eine elektrische Ladung erhalten haben, sich mit einer Kraft abstoßen, welche dem Quadrat der elektrischen Dichtigkeit proportional ist.

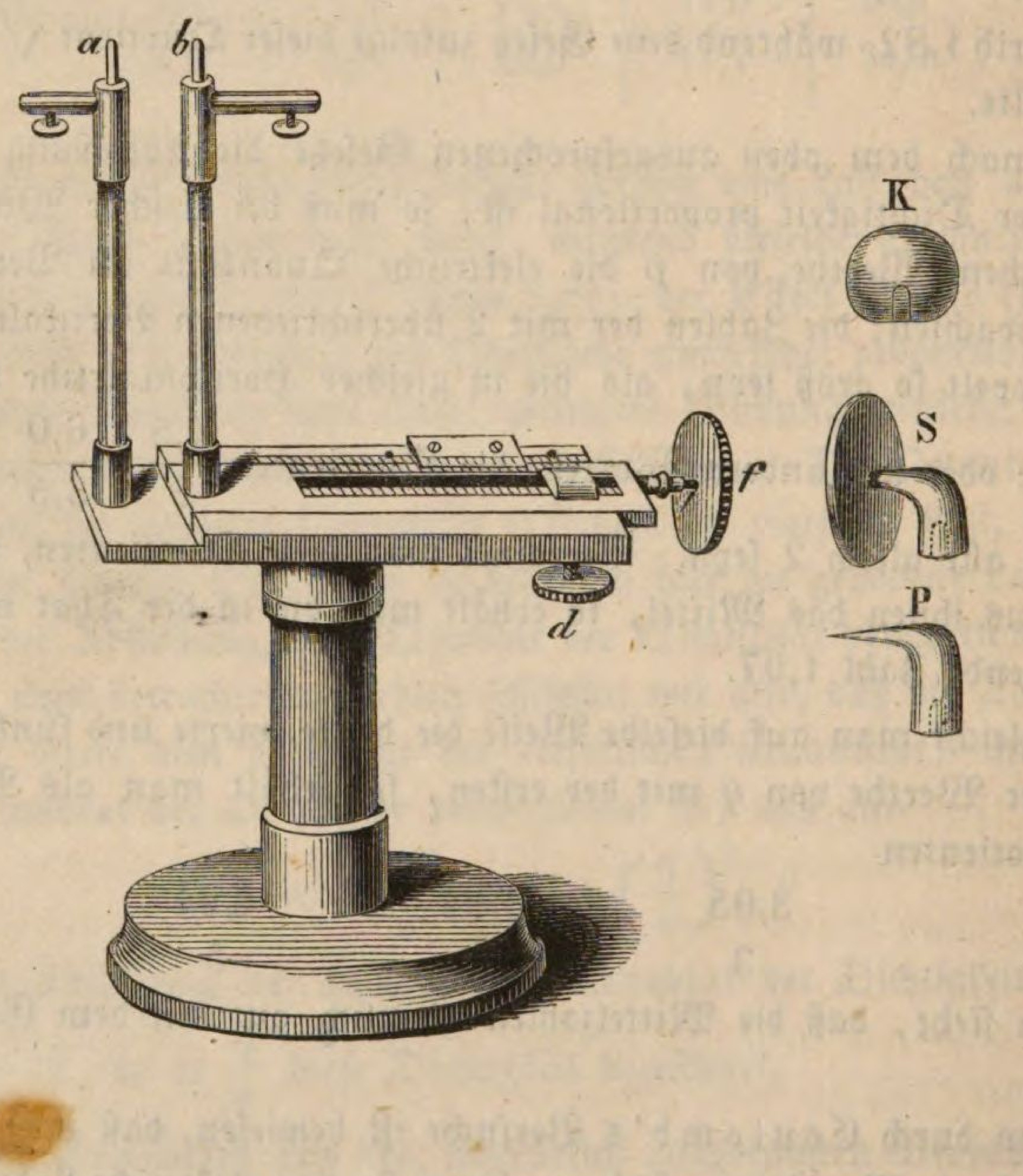
In den bisher besprochenen Versuchen ist nun aber nicht direct die Dichtigkeit E auf die Kugeln, sondern die Quantität der E gemessen worden, welche auf der äußeren Fläche der Batterie gebunden ist. Die Ueber-

einstimmung unserer Resultate mit dem Coulomb'schen Gesetze beweis't also, daß die Dichtigkeit der freien E der inneren Belegung (welche die Abstoßung der Kugeln bewirkt) zu der gebundenen auf der äußeren Belegung stets in demselben Verhältnisse steht, oder mit andern Worten, daß der Condensationscoefficient von der Quantität der E im Innern der Batterie unabhängig ist.

31 **Schlagweite der Batterie.** Die Versuche von Rieß über diesen Gegenstand (P. A. 40. 332) bestätigen die Thatsache, welche schon durch Lane und Harris ermittelt war, daß die Schlagweite der Batterie die Dichtigkeit der E proportional ist.

Um die Schlagweite der Batterie genau messen zu können, wandte Rieß einen Apparat an, welchen er das Funkenmikrometer nennt, und der in Fig. 50 abgebildet ist.

Fig. 50.



Jeder der Messingzapfen a und b befindet sich an einem Messingstück, welches einen horizontalen Arm zum Einklammern von Drähten hat und durch eine Glassäule isolirt ist. Der eine Stab ist fest, der andere steht auf einem Schlitten, welcher mittelst der Führschraube f längs einer Theilung bewegt wird. Lös't man die Schraube d, so kann man den Schlitten frei mit der Hand verschieben, ist aber d angezogen, so ge-

schieht die feinere Stellung vermittels der Schraube f, in dem durch Anziehen von d die Mutter der Schraube f auf die untere Metallplatte festgedrückt wird. Der ganze Apparat steht auf einem Glasfuß von $2\frac{1}{2}$ Zoll Länge. Auf die Zapfen a und b können verschiedene Metallkörper aufgesteckt werden; Kugeln K von $6\frac{1}{2}$, Scheiben S von $8\frac{1}{2}$ Linien Durchmesser, Spitzen P u. s. w.

Bei den zunächst zu betrachtenden Versuchen waren Kugeln aufgesteckt.

Die Versuche sind in folgender Weise angestellt. Der eine Zapfen ist mit der inneren, der andere mit der äußeren Belegung in gut leitende Verbindung gebracht. Die Ladung der Flasche oder Batterie geschah auf die bekannte Weise durch die Lane'sche Flasche. Es wurde beobachtet, wie viel Funken in der Maaßflasche überspringen mußten, bis eine Entladung der Batterie bei einer bestimmten Entfernung d den Kugeln des Funkenmikrometers erfolgte. Als Einheit für d ist $1\frac{1}{2}$ Linien genommen.

Die Resultate der Versuche sind in folgender Tabelle zusammengestellt; s und q haben die bekannte Bedeutung.

s	2	3	4	5
d	q	q	q	q
1	—	3	3,5	4,3
2	3	5,5	7	8,5
3	4,6	8,0	10,1	12,5
4	6,4	10,3	13,5	16
5	7,5	—	16	—

Vergleicht man irgend einen Werth von q mit den in derselben Vertikalreihe unter ihm stehenden, so ist der Quotient nahe derselbe wie der dem entsprechenden Werthe von d. Nehmen wir z. B. die mit 4 überschriebene Vertikalreihe, also den Fall, wo eine Batterie von 4 Flaschen angewendet wurde, so sehen wir, daß die Quantität 3,5 die Schlagweite 1 giebt, während die doppelte, die vierfache Schlagweite auch die doppelte, die vierfache Quantität, nämlich $7 = 2 . 3,5$ und $13,5$ nahe gleich $4 . 3,5$ erfordert. Die Schlagweite ist also bei einer und derselben Batterie stets der Quantität q der zugeführten E proportional.

Dies bestätigen auch die anderen Versuche. Die Zahlen der zweiten Horizontalreihe der Werthe von q dividirt durch die der ersten, geben als Mittel den Quotienten 1,92, also nahe 2, welches der Quotient der entsprechenden Schlagweiten 2 und 1 ist.

Die zweite und dritte, die zweite und vierte, die zweite und fünfte Horizontalreihe der Werthe von q geben auf diese Weise, verglichen als Mittelwerthe, die Quotienten

1,47 1,95 2,39

also nahe $1{,}5 = 3/_2$ $2 = 4/_2$ $2{,}5 = 5/_2$,

welches die Verhältnisse der entsprechenden Schlagweiten sind.

Die elektrische Quantität 10,3 giebt auf 3 Flaschen vertheilt die Schlagweite 4; dieselbe elektrische Quantität (fast dieselbe, nämlich 10,1) auf 4 Flaschen vertheilt, giebt nun die Schlagweite 3. Wenn also bei gleicher elektrischer Quantität die Oberfläche im Verhältniß von 3 zu 4 wächst, so nimmt die Schlagweite im umgekehrten Verhältniß, nämlich von 4 : 3 ab; die Schlagweite verhält sich also direct wie die elektrische Quantität und umgekehrt wie die Oberfläche, es ist also

$$d = b\,\frac{q}{s}$$

oder mit anderen Worten: die Schlagweite ist der Dichtigkeit der angehäuften E proportional.

Wenn dies Gesetz allgemein wahr sein soll, wenn also die Schlagweite der Oberfläche der Batterie umgekehrt proportional, der elektrischen Quantität aber direct proportional ist, so muß bei gleicher Schlagweite die elektrische Quantität in demselben Verhältniß wachsen wie die Oberfläche.

In obiger Tabelle müssen demnach die Zahlen einer und derselben Horizontalreihe sich stets verhalten wie die über ihnen stehenden Werthe von s. Es müßte also $\frac{5{,}5}{3}$, $\frac{8{,}0}{6}$, $\frac{10{,}3}{6{,}4}$ gleich $3/_2$, ferner $\frac{3{,}5}{3}$, $\frac{7{,}0}{5{,}5}$, $\frac{10{,}1}{8{,}0}$, $\frac{13{,}5}{10{,}3}$ gleich $4/_3$ u. s. w. seyn, was auch im Mittel nahe zutrifft.

Rieß fand das Gesetz, daß die Schlagweite der Dichtigkeit der angehäuften E proportional ist, auch für den Fall bestätigt, daß er die Funken zwischen zwei parallelen Metallscheiben, oder zwischen einer Kugel und einer Scheibe überschlagen ließ.

Nur fand er, daß unter sonst gleichen Umständen die Schlagweite zwischen zwei Scheiben größer ist, als zwischen zwei Kugeln, und daß bei parallelen Scheiben die Funken nicht in der Mitte, sondern am Rande oder doch in der Nähe des Randes überschlagen. Für eine Kugel und eine Scheibe ist die Schlagweite größer als für zwei Kugeln und kleiner als für zwei Scheiben.

32 **Schlagweite der Batterie unabhängig vom Schließungsbogen.** Man war früher der Ansicht, daß die Schlagweite der Batterie von der Natur des Schließungsbogens abhängig sey, daß sie größer sey bei gut me-

tallischer Schließung, kleiner bei schlechter Schließung. Rieß hat gezeigt, daß dies nicht der Fall ist (P. A. 53. 1.).

Die Versuche wurden in folgender Weise angestellt. Der eine Zapfen des Funkenmikrometers war mit der inneren Belegung der Batterie durch einen dicken Kupferdraht verbunden; ein zweiter dicker Kupferdraht führte von dem anderen Zapfen zu dem einen Arm des Henley'schen Ausladers, dessen anderer Arm mit der äußeren Belegung der Batterie in gut leitender Verbindung war. Zwischen dem Arme des Ausladers wurde nun der Reihe nach eingeschaltet:

1) ein 4‴ langer, ½‴ dicker Kupferdraht,

2) ein 102″ langer, 0,052‴ dicker Platindraht,

3) eine mit Wasser gefüllte Glasröhre 8,3″ lang, 4,5‴ dick,

also einmal eine sehr vollkommene, einmal eine metallische, aber doch unvollkommene und endlich eine sehr unvollkommene Schließung.

Die Resultate der Versuche sind in folgender Tabelle zusammengestellt

		Einschaltung in dem Schließungsbogen.		
		Kupferdraht.	Platindraht.	Wasserröhre.
s	d	q	q	q
3	1	6	6	6
	2	10,2	10,5	10,5
	3	15	15	14,5
4	1	8	8	8
	2	14,5	14	14
	3	21,5	19,7	19,5
5	1	10	10	11
	2	18	19	19
	3	27	25,5	26

Man sieht aus dieser Tabelle, daß bei gleicher Flaschen-Zahl s, bei gleicher Entfernung d den Kugeln des Funkenmikrometers auch der Werth von q immer fast ganz genau gleich ist, mag nun der Platindraht, der Kupferdraht oder die Wasserröhre eingeschaltet seyn, bei gleicher Ladung ist also die Schlagweite dieselbe, auf welche Weise der Schließungsbogen auch zusammengesetzt ist.

Die Schlagweite der elektrischen Batterie ist also gänz-

lich unabhängig von der Beschaffenheit des Schließungsbogens, vorausgesetzt, daß die Flächen, zwischen welchen die Entladung stattfindet, unverändert bleiben.

Während die Schlagweite durch die Natur des Schließungsbogens nicht alterirt wird, hat diese auf die Funken selbst großen Einfluß. Fünf Flaschen einer Batterie geben bei einer gewissen Ladung und bei Anwendung des Kupferdrahts $1\frac{1}{2}$ Linien lange Funken von einem unerträglichen Glanz mit einem schmetternden Knalle, während bei Anwendung des Platindrahtes bei gleicher Ladung ein Funke von gleicher Länge, aber schwachem Lichte und dumpfem Schalle erhalten wurde und die Wasserröhre einen kaum merklichen Funken erscheinen ließ.

33 **Elektricitätsmenge, welche bei der Entladung in der Schlagweite verschwindet.** Wenn die Batterie in der Schlagweite entladen wird, so bleibt noch eine merkliche Ladung zurück, welche bei größerer Annäherung der Kugeln einen zweiten Entladungsfunken giebt. Man kann sich von der Thatsache leicht schon mit der Maaßflasche allein überzeugen. Man stelle die Kugeln der Maaßflasche etwa 2 Linien auseinander und lade bis zum Ueberspringen des Funkens; nähert man nun die Kugeln einander, so wird alsbald ein zweiter Funken überspringen.

Rieß hat in dem zuletzt erwähnten Aufsatz gezeigt, daß die Elektricitätsmenge, welche bei der Entladung der Batterie in der Schlagweite verschwindet, immer in demselben Verhältniß zur ganzen Ladung steht, und daß sie dieselbe sey, mag nun der Schließungsbogen aus besser oder schlechter leitenden Metalldrähten zusammengesetzt seyn.

Der Versuch war ganz so arrangirt wie die Versuche, deren Resultat in der letzten Tabelle zusammengestellt sind; bei einer Versuchsreihe war der Kupferdraht, bei der anderen der Platindraht im Henley'schen Auslader. Nachdem die Entladung in der Schlagweite stattgefunden hatte, nachdem also ein Theil der Batterieladung verschwunden war, wurde der Batterie von neuem Elektricität zugeführt, bis abermals eine Entladung in der Schlagweite stattfand. Es wurde also gezählt, wieviel Funken der Entladungsflasche nöthig waren, um die erste Entladung der Batterie zu bewirken, alsdann aber wieviel Funken der Maaßflasche nöthig waren, um die bei der ersten Entladung verschwundene Elektricitätsmenge wieder zu ersetzen.

Wie groß unter verschiedenen Umständen die ganze Ladung war, als die Entladung in der Schlagweite erfolgte, sehen wir aus der vorigen Tabelle, wieviel Elektricität alsdann aber der Batterie von neuem zugeführt werden mußte, um die zweite Entladung und der Schlagweite zu erhalten, sehen wir aus der folgenden Tabelle.

		Einschaltung in dem Schließungsbogen.	
		Kupferdraht 4‴.	Platindraht 102″.
s	d	q'	q'
3	1	5	5
	2	8,8	8,7
	3	13	12,5
4	1	6,5	6,5
	2	12,5	11,7
	3	17	17
5	1	9	9
	2	15	16,5
	3	22,5	22,5

Zunächst sehen wir aus dieser Tabelle, daß die Elektricitätsmenge q', welche man nach der ersten Entladung in die Schlagweite der Battrie zuführen mußte, um eine abermalige Entladung in der Schlagweite zu bewirken, also die Elektricitätsmenge, welche bei der Entladung in der Schlagweite vernichtet wird, fast immer ganz dieselbe ist, mag nun der kurze Kupferdraht oder der lange Platindraht eingeschaltet seyn.

Bei 3 Flaschen und der Entfernung 1 der Kugeln des Funkenmikrometers war die Elektricitätsmenge $q = 6$ zur ersten Entladung nöthig; um nun die zweite Entladung zu bewirken, mußte der Batterie abermals die Elektricititätsmenge $q' = 5$ zugeführt werden; bei der Entladung in der Schlagweite 1 waren also $5/6$ der ganzen Ladung verschwunden, oder mit anderen Worten $\frac{q'}{q}$, war gleich $5/6 = 0{,}833$ .....

Für $s = 4$, $d = 1$, war $q = 8$, $q' = 6{,}5$, also $\frac{q'}{q} = \frac{6{,}5}{8} = 0{,}812$....

Für $s = 5$, $d = 1$, war $q = 10$, $q' = 9$, also $\frac{q'}{q} = 9/10 = 0{,}9$.

Für $s = 5$, $d = 3$ war $q = 27$, $q' = 22{,}5$, also $\frac{q'}{q} = \frac{22{,}5}{27} = 0{,}833$...

Für $s = 4$, $d = 2$, war $q = 14{,}5$, $q' = 12{,}5$, also $\frac{q'}{q} = \frac{12{,}5}{14{,}5} = 0{,}862$.

Man sieht also, daß unter den verschiedensten Umständen bei der Ent-

ladung in der Schlagweite immer sehr nahe derselbe Antheil der ganzen Ladung verschwindet. Als Mittel aus allen in den beiden letzten Tabellen angeführten Versuchen ergiebt sich, daß sowohl bei guter als auch bei schlechter metallischer Schließung bei der Entladung in der Schlagweite 0,846 oder $^{11}/_{13}$ der ganzen Ladung verschwinden, daß also noch $^{2}/_{13}$ der ganzen Ladung zurückbleiben.

Als Rieß statt der Kugeln parallele Metallplatten auf das Funkenmikrometer auffetzte, ergab eine Versuchsreihe für $\frac{q'}{q}$ im Mittel den Werth 0,849; und als noch eine Unterbrechung von 0,3''' im Schließungsbogen angebracht wurde, ergab sich $\frac{q'}{q}=0,842$, also fast genau derselbe Werth für die in der Schlagweite verschwundene Elektricitätsmenge.

Wahrscheinlich ist der Werth von $\frac{q'}{q}$ von der Dicke des Glases der Batterie abhängig, doch sind darüber bis jetzt noch keine Versuche gemacht.

34 **Erfolg bei dem gewöhnlichen Entladungsverfahren.** Aus diesen Versuchen läßt sich der Vorgang leicht bei dem gewöhnlichen Entladungsverfahren bestimmen, wo eine mit der äußeren Belegung verbundene bewegliche Kugel der festen Kugel der inneren Belegung bis zur Berührung genähert wird. Wenn die bewegliche Kugel in die Schlagweite, welche wir mit d bezeichnen wollen, gekommen ist, so verschwinden $^{11}/_{13}$ der Ladung, es bleiben $^{2}/_{13}$ zurück; es kann erst wieder eine Entladung stattfinden, wenn die bewegliche Kugel bis auf $^{2}/_{13}\,d$ genähert ist, bei welcher Entfernung nun abermals $^{11}/_{13}$ der noch übrigen Ladung verschwinden; eine dritte Entladung erfolgt, wenn die bewegliche Kugel auf $(^{2}/_{13})^{2}\,d$ genähert ist u. s. w. Beträgt z. B. die ursprüngliche Schlagweite $1^{1}/_{2}$ Linien, so erfolgen die Entladungen bei folgenden Entfernungen:

1,5 0,23 0,035 0,0055 Linien,

bei welchen schon die dritte nicht mehr von der Berührung zu unterscheiden ist. Bei dem gewöhnlichen Entladungsverfahren wird also der Schließungsbogen von mehreren Entladungen ergriffen, die nach einander stattfinden.

35 **Erfolg bei der Entladung in der Schlagweite.** Bei der Entladung in der Schlagweite verschwindet eine so bedeutende Menge von Elektricität, daß nicht etwa eine geringe Annäherung der Kugeln eine zweite Entladung zur Folge hat, sondern daß die Schlagweite auf $^{2}/_{13}$ der ursprünglichen reducirt wird. Daß eine so große Menge von Elektricität, daß nämlich $^{11}/_{13}$ der ganzen Ladung verschwinden, scheint darauf hinzudeuten, daß auch die Entladung in der Schlagweite eine successive ist; durch den Uebergang der ersten Elektricitätsmenge wird die Luft verdünnt, und dadurch der Uebergang neuer Elektricitätsmengen möglich gemacht, welche

nicht hätten übergehen können, wenn der zu überwindende Widerstand nicht durch die Verdünnung der Luft vermindert worden wäre. Der Uebergang der Elektricität dauert fort, bis die Ladung der Batterie so schwach geworden ist, daß bei der constanten Entfernung der Kugeln trotz des wegen der verdünnten Luft geringen Widerstandes kein Funken mehr übergehen kann. Hat nun die Luft zwischen den Kugeln ihre gewöhnliche Dichtigkeit wieder erlangt, so ist nun eine bedeutende Annäherung der Kugeln nöthig, um eine abermalige Entladung möglich zu machen. Bei der Entladung in der Schlagweite wird also ihre Elektricität successiv vernichtet.

Ein Beweis für diese successive Entladung ist der Umstand, daß der Rest der Entladung viel bedeutender bleibt, daß also eine geringere Menge von Elektricität bei der Entladung vernichtet wird, wenn schon die erste übergehende Elektricitätsmenge eine Unterbrechung des Schließungsbogens veranlaßt, wie dies z. B. der Fall ist, wenn ein dünner, in dem Schließungsbogen eingeschalteter Draht durch den Entladungsschlag geschmolzen wird, ein Fall, den wir später noch genauer betrachten werden.

Ein weiterer Beweis für die successive Entladung in der Schlagweite ist auch der Umstand, daß die rückständige Ladung viel bedeutender ist, wenn man in den Schließungsbogen eine Röhre mit Wasser einschaltet.

Statt des schon auf S. 97 besprochenen Kupferdrahts oder Platindrahts wurde die daselbst besprochene Glasröhre mit Wasser eingeschaltet, und eine mit diesem Schließungsbogen angestellte Versuchsreihe gab folgende Resultate.

s	d	Ganze Ladung. q	Hinzukommende Ladung. q'
3	1	6	3,5
	2	10,5	7
	3	14,5	10,5
4	1	8	4,5
	2	14	9
	3	19,5	13,5
5	1	11	5
	2	19	11,7
	3	26	17

Obgleich die Schlagweite unter sonst gleichen Umständen dieselbe ist, wie bei metallischer Schließung, so ist doch die Menge der Elektricität, welche bei der Entladung in der Schlagweite verschwindet, viel geringer als bei metallischer Schließung. Während bei metallischer Schließung $\frac{q'}{q} = {}^{11}/_{13}$ 0,846 war, ist sie hier nur $^5/_8 = 0,625$; der Rest der Ladung betrug also dort $^2/_{11} = 0,154$; hier ist er $^3/_8 = 0,375$, der Rückstand ist also hier mehr als doppelt so groß.

Rieß erklärt dies auf folgende Weise. Wenn eine Batterie geladen ist, so steht die Elektricitätsmenge auf der äußeren und inneren Belegung in einem bestimmten Verhältniß. Auf der inneren Belegung ist ein Ueberschuß, welcher ein aliquoter Theil der ganzen auf der inneren Belegung befindlichen Elektricitätsmenge ist. Auch die Menge der auf der äußeren Belegung gebundenen Elektricität steht in einem bestimmten Verhältniß zu diesem Ueberschuß. — Im ersten Moment der Entladung wird nun gleich viel Elektricität von der inneren und äußeren Belegung verschwinden, jenes Verhältniß ist also zerstört, es ist jetzt verhältnißmäßig mehr freie Elektricität auf der inneren Belegung als beim Zustand vollkommener Ladung, und dadurch wird die fernere Entladung befördert. Ist nun aber die Wasserröhre eingeschaltet, so ist dadurch die Entladung so sehr verzögert, daß der Ueberschuß der inneren Belegung durch das Glas hindurchwirkend aus den Umgebungen die entgegengesetzte Elektricität nach der äußeren Belegung ziehen kann, daß er also hier vollständiger gebunden, und sein Uebergang zwischen den Kugeln des Funkenmikrometers dadurch gehindert wird. Es spricht also diese Erscheinung ebenfalls schon für die successive Entladung in der Schlagweite.

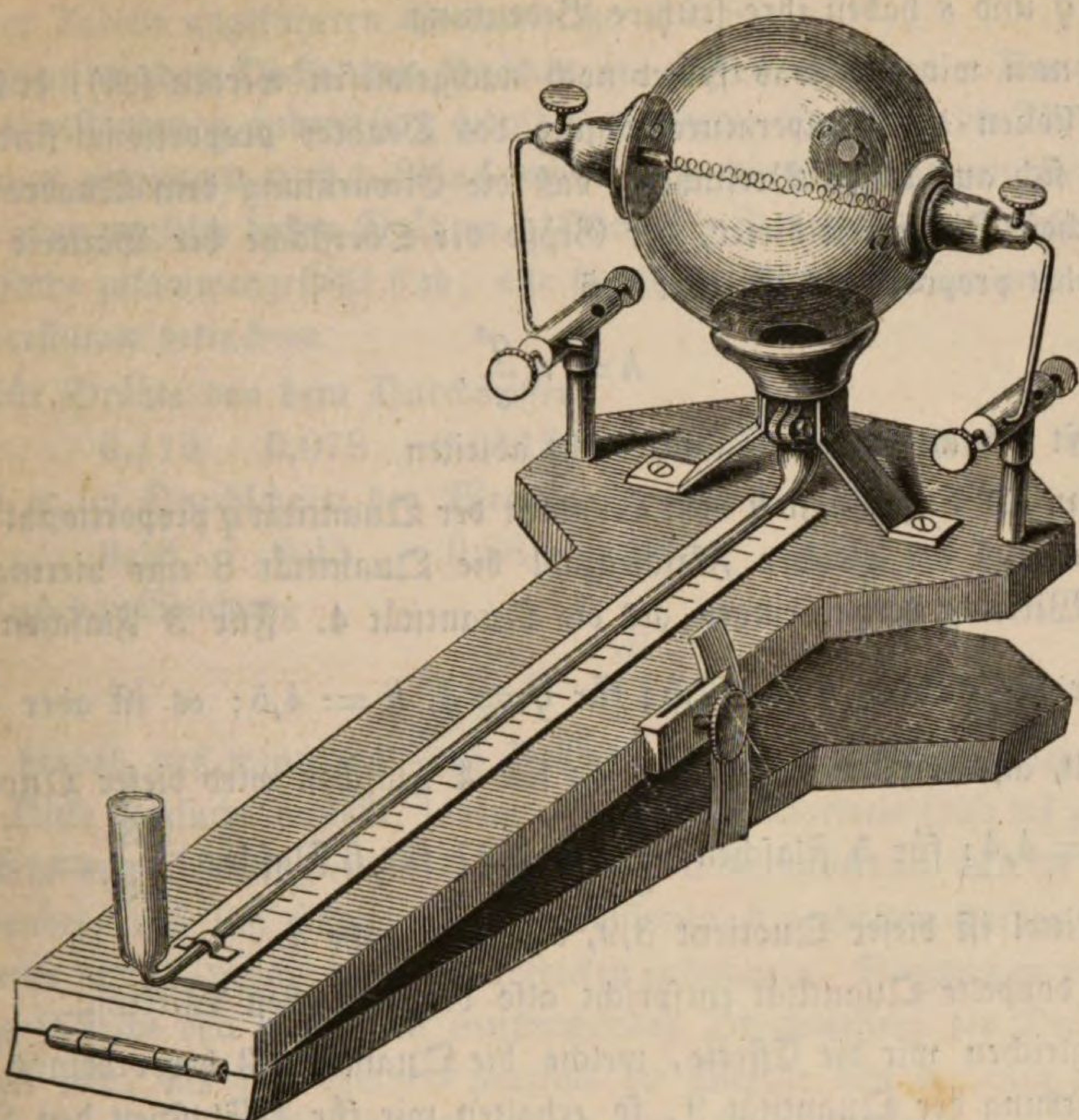
36 **Erwärmung im Schließungsbogen der elektrischen Batterie.** Um Versuche über die Erwärmung dünner Dräthe durch den Entladungsschlag der Batterie anzustellen, wandte Rieß nach Harri's Vorgang ein Luftthermometer an, durch dessen etwas große Kugel der Drath ausgespannt war. Die Röhre dieses Thermometers, eng im Vergleich zur Kugel, war schräg nach unten gekehrt, und endigte mit einem aufwärts gebogenen weiteren Gefäße, so daß ein Faden dieser Flüssigkeit in die Thermometerröhre hineinragte.

Die Skale der Thermometerröhre war in Linien getheilt. Dieses Thermometer ist Fig. 51. abgebildet.

Durch den Entladungsschlag wurde nun der Drath, und in Folge dessen auch die Luft in der Kugel erwärmt, die Flüssigkeitssäule in der Röhre niedergedrückt. Die in Linien ausgedrückte Depression der Flüssigkeitssäule ist als Maaß der Erwärmung zu betrachten.

Eine genauere Beschreibung des Luftthermometers wird weiter unten folgen.

Fig. 51.



Die Resultate einer Versuchsreihe mit einem 0,0547''' dicken Platindrathe sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

s	2	3	4	5	6
q	*h*	*h*	*h*	*h*	*h*
2	1,5				
3	4,3	3	2	1,5	
4	6,7	4,5	3,2	3,0	2,6
5	9,3	7,0	5,2	4,5	3,8
6	13,4	9,7	7,3	6,5	5,5
7		15	11.0	8,8	7,3
8		17,5	14,1	11,3	9,3
9			17,8	14,3	11,7
10				16,7	14,3

h bezeichnet die in Linien ausgedrückte Depression in der Thermometerröhre, q und s haben ihre frühere Bedeutung.

Nehmen wir an (was später noch nachgewiesen werden soll), daß die Depressionen der Temperaturerhöhung des Drahtes proportional sind, so ergiebt sich aus diesen Versuchen, daß die Erwärmung dem Quadrat der elektrischen Dichtigkeit direct, der Größe der Oberfläche der Batterie aber umgekehrt proportional ist, oder daß

$$h = n\frac{q^2}{s},$$

dies läßt sich aus obiger Tabelle leicht ableiten.

Wenn die Depression h dem Quadrat der Quantität q proportional seyn soll, so muß bei gleicher Flaschenzahl die Quantität 8 eine viermal so große Wirkung hervorbringen als die Quantität 4. Für 3 Flaschen haben wir für $q = 8$, $h = 17{,}5$; für $q = 4$, $h = 4{,}5$; es ist aber $\frac{17{,}5}{4{,}5}$ $= 3{,}89$, also wirklich nahe gleich 4; für 4 Flaschen wird dieser Quotient $\frac{14{,}1}{3{,}2} = 4{,}4$; für 5 Flaschen $\frac{11{,}3}{3} = 3{,}77$ für 6 Flaschen $\frac{9{,}3}{2{,}6} = 3{,}57$ Im Mittel ist dieser Quotient 3,9, also sehr nahe 4.

Die doppelte Quantität entspricht also der vierfachen Wirkung.

Vergleichen wir die Effecte, welche die Quantität 3 hervorbringt, mit der Wirkung der Quantität 9, so erhalten wir für 4 Flaschen den Quotienten $\frac{17{,}8}{2} = 8{,}9$, für 5 Flaschen $\frac{14{,}3}{1{,}5} = 9{,}53$, im Mittel also 9,21. Die dreifache Quantität bringt also die neunfache Depression hervor.

Wenn man auf dieselbe Weise die anderen Zahlen der Tabelle vergleicht, so findet man, daß wenigstens im Mittel bei gleicher Flaschenzahl h der Quadrat von q proportional ist.

Eben so läßt sich aus der Tabelle zeigen, daß bei gleichem Werth von q sich h umgekehrt verhält wie s, daß also, wenn dieselbe elektrische Quantität auf die doppelte der dreifachen Oberfläche vertheilt ist, die Depression zweimal, dreimal geringer ist. Dies ergiebt sich aus der Tabelle wenigstens im Mittel als sehr nahe richtig.

Für $s = 3$, $q = 4$ ist nach obiger Tabelle $h = 4{,}5$. Diese Werthe in obige Gleichung gesetzt, kommt

$$4{,}5 = n\frac{16}{3},$$

woraus $n = 0{,}843$.

Berechnet man auf dieselbe Weise den Werth der Constanten n aus allen einzelnen Beobachtungen, d. h. aus allen zusammen gehörigen Werthen

von h, s und q obiger Tabelle, so ergiebt sich n als Mittel aus allen in obiger Tabelle angeführten Versuchen gleich 0,88.

Einfluß der Dicke der Drähte im Thermometer. Der Werth 37
des Constanten n ändert sich, sobald ein anderer Draht in die Thermometerkugel eingezogen wird. Rieß wiederholte die Versuche mit gleich langen aber ungleich dicken Drähten. Ohne die Tabellen, in welchen diese Versuche zusammengestellt sind, alle hierher zu setzen, wollen wir nur die Endresultate betrachten.

Für Drähte von dem Durchmesser

0,119 0,078 0,0547 0,05 0,0225 Linien

fand er im Durchschnitt den Werth von n gleich

0,18 0,45 0,88 1,02 2,69.

Aus der Gleichung

$$h = n \cdot \frac{q^2}{s}$$

geht hervor, daß wenn man mit Drähten von gleicher Länge, aber ungleicher Dicke Versuche anstellt, indem man dieselbe Batterie (also bei gleichem Werthe von s) mit gleicher Ladung (also unverändertem Werthe von q) anwendet, daß sich alsdann die Depressionen h verhalten werden wie die Werthe von n, welche diesen Drahtdicken zukommen. Vergleichen wir aber obige Werthe von n mit den entsprechenden Durchmessern der Drähte, so finden wir, daß sich caeteris paribus die Werthe von n, also auch die Depressionen der Flüssigkeitssäule, oder die Erwärmung der Luft in der Kugel des Luftthermometers verhalten wie die Quadrate der entsprechenden Drahthalbmesser.

Bezeichnen wir obige Drähte der Dicke nach mit 1, 2, 3, 4 und 5, so verhalten sich die Quadrate der Halbmesser des 4ten und 1sten wie $0{,}05^2$ zu $0{,}119^2$, oder wie 0,0025 zu 0,014169; es ist aber $\frac{0{,}014169}{0{,}0025} = 5{,}66$ umgekehrt wie die Quadrate dieser Durchmesser verhalten sich die entsprechenden Werthe von n, denn es ist

$$\frac{1{,}02}{0{,}18} = 5{,}66.$$

Dividirt man das Quadrat des Durchmessers des Drahtes 1 der Reihe nach durch die Quadrate der Durchmesser der anderen Drähte, so erhält man folgende Quotienten

2,33 4,73 5,66 28,

dividirt man aber den Werth von n für den ersten Draht der Reihe nach in den Werth von n, für den 2ten, 3ten u. s. w., so erhält man folgende Quotienten

2,5 4,88 5,66 15,

welche sehr nahe den obigen gleich sind; nur für den dünnsten Draht differiren die Quotienten 28 und 15 bedeutend.

Lassen wir diesen dünnsten Draht unberücksichtigt, so folgt aus den übrigen Versuchen, daß sich die Werthe des Factors n, folglich auch die Depressionen im Luftthermometer oder die Temperaturerhöhungen der Luft in der Kugel umgekehrt verhalten wie die Quadrate der Durchmesser der Drähte; oder mit anderen Worten: Die Temperaturerhöhung der Luft in der Kugel ist caeteris paribus dem Querschnitt des Drahtes umgekehrt proportional; oder in Zeichen:

$$w = \frac{\alpha \,.\, q^2}{r^2 s},$$

wo $\frac{\alpha}{r^2}$ statt n in die Gleichung gesetzt ist und α einem constanten Factor bezeichnet.

Wenn also ein 2mal, 3mal so dicker Draht in das Luftthermometer eingezogen ist, so wird die Erwärmung der Luft in der Kugel 4mal, 9mal geringer seyn, wenn sonst alles unverändert bleibt.

Die Temperaturerhöhung der Luft in der Kugel ist offenbar der im Drahte freigewordenen Wärmemenge proportional, was also eben von der Temperaturerhöhung der Luft in der Kugel gesagt wurde, gilt auch von der in den Drähten freigewordenen Wärmemenge.

Ein 2mal, 3mal, 4mal so dicker Draht hat bei gleicher Länge eine 4mal, 9mal, 16mal größere Masse; wenn nun in diesen dickeren Drähten eben so viel Wärme frei wird, als in den dünneren, so hat sich dieselbe Wärmemenge über eine größere Masse zu verbreiten, die Temperaturerhöhung ist also der Masse, mithin dem Quadrat des Halbmessers umgekehrt proportional, oder in Zeichen

$$T = \gamma \frac{w}{r^2},$$

wo γ ebenfalls einen constanten Factor, T hingegen die Temperaturerhöhung des Drahtes bezeichnet. Aus dieser letzten Gleichung folgt

$$w = \frac{T r^2}{\gamma},$$

und wenn man diesen Werth von w dem oben gegebenen gleichsetzt, also

$$\frac{T r^2}{\gamma} = \frac{\alpha}{r^2} \frac{q^2}{s},$$

so kommt

$$T = \frac{\alpha\gamma}{r^4} \frac{q^2}{s} = \frac{\beta}{r^4} \frac{q^2}{s},$$

d. h. in Worten: die Temperaturerhöhung eines Drahtes ist caeteris paribus der 4ten Potenz seines Halbmessers umgekehrt proportional, also ein 2mal, 3mal so dicker Draht wird,

wenn eine ganz gleiche elektrische Ladung von derselben Dichtigkeit durch ihn entladen wird, eine 16mal, 81mal geringere Temperaturerhöhung erfahren, vorausgesetzt, daß die Drahtlänge unverändert bleibt.

Diese Beziehungen gelten natürlich nur so lange, als man Drähte von derselben Substanz mit einander vergleicht, da ja jede Substanz eine andere specifische Wärme hat, also für sie ein anderes Verhältniß zwischen Wärmemenge und Temperaturerhöhung stattfindet.

Bei den bisher besprochenen Rieß'schen Versuchen waren Platindrähte in das Thermometer eingespannt.

Der letzte ganz dünne Draht paßt nicht mehr in das Gesetz, was Rieß durch die Annahme erklärt: das Gesetz gelte nur für gleiche Entladungszeit und diese sey wirklich als gleich zu betrachten, so lange der Durchmesser der Drähte nicht über eine gewisse Gränze abnehme, sey dies aber der Fall, so verzögern die Drähte die Entladung, und eine Folge dieser Verzögerung ist dann eine geringere Temperaturerhöhung.

Seine ersten Versuche zeigten ihm, daß wenn die Länge des Drahtes in der Kugel zunahm, die Erwärmung etwas geringer wurde.

Einfluß der Länge des Drahtes im Thermometer. Wenn der Draht im Thermometer verlängert wurde, so zeigte sich eine kleine Abnahme in der Erwärmung, was auf eine Verzögerung der Entladung hindeutet. — Wenn aber der Schließungsbogen an und für sich ganz unverändert bleibt und man die Erwärmung an verschiedenen Stellen desselben untersucht, so zeigt sich die Erwärmung von der Länge der einzelnen Drahtstücke unabhängig. 38

Hätte man z. B. ein Stück Platindraht in das Luftthermometer, ein anderes gleich dickes und doppelt so langes in den Henley'schen Auslader ausgespannt, in den Schließungsbogen gebracht, so würde eine Entladung der Batterie eine bestimmte Depression hervorgebracht haben. Hätte man nun die Platindrähte vertauscht, hätte man also den aus dem Thermometer in den Auslader gebracht und umgekehrt, so wäre offenbar der Schließungsbogen unverändert geblieben; dieselbe Entladung wird aber nun die doppelte Depression hervorbringen. — Nun aber war jetzt die doppelte Platinmasse im Thermometer, diese hatte die doppelte Wärmemenge abgegeben, die Erwärmung des längeren Platindrahtes war also dieselbe, wie die des kürzeren.

Wir wollen eine der Versuchsreihen näher betrachten, durch welche Rieß diesen Satz bewiesen hat. Der Radius des Drahtes im Thermometer war 0,036''', seine Länge 59,7'''. Der Halbmesser des Drahtes im Auslader war 0,058''', seine Länge 100,4'''. Es wurde eine Reihe von Versuchen mit verschiedener Flaschenzahl und verschiedenen Ladungen gemacht, als deren Resultat

$$h = 0,91 \frac{q^2}{s}$$

erhalten wurde. Nun wurden die Dräthe vertauscht. Eine ähnliche Versuchsreihe gab das Resultat

$$h = 0,56 \frac{q^2}{s}.$$

Wäre der zuletzt ins Thermometer gespannte Draht eben so lang gewesen wie der andere, so müßten sich nach dem vorigen Paragraphen die Depressionen verhalten wie die Quadrate der Halbmesser, man würde also im letzten Falle erhalten haben $h = 0,35 \frac{q^2}{s}$. Dieser Factor von $\frac{q^2}{s}$ verhält sich zum Factor 0,56 wie 1 zu 1,6. Die Länge des 2ten Drahtes ist aber sehr nahe in demselben Verhältniß, nämlich im Verhältniß von 59,7 zu 100,4 oder 1 zu 1,67 länger.

Die Depression ist also bei der zweiten Versuchsreihe mit Berücksichtigung der verschiedenen Durchmesser in demselben Verhältniß größer wie die Drahtlänge zugenommen hat, die Erwärmung in den einzelnen Drahtstücken ist also von ihrer Länge unabhängig.

Am besten übersieht man dies, wenn man die wirkliche Temperaturerhöhung der Dräthe im Thermometer berechnet; wie dies möglich ist, soll im folgenden Paragraphen gezeigt werden. Für die erste der eben besprochenen beiden Versuchsreihen erhält man diese Temperaturerhöhung:

$$T' = 0,3975,$$

für die andere

$$T' = 0,0592.$$

Diese Zahlen verhalten sich wie 1 zu 6,66; die 4ten Potenzen der entsprechenden Drahthalbmesser verhalten sich wie 1 zu 6,738. Die Erwärmungen verhalten sich also wirklich sehr nahe wie die 4ten Potenzen der Drahthalbmesser und sind von der Länge der Drahtstücke unabhängig.

39 **Einfluß der Unterbrechungen im Drathe auf die Erwärmung.** Wenn eine Unterbrechung im Schließungsdrahte stattfindet, so hat dies einen merklichen Einfluß auf die Erwärmung. Waren die beiden Drahtenden der Unterbrechung zugespitzt, so fiel die Erwärmung stets geringer aus, als bei ununterbrochener Schließung, und zwar um so geringer, je weiter die Drahtspitzen von einander entfernt wurden. Es erklärt sich dies leicht dadurch, daß das Residuum der Batterie um so größer wird, je größer die Strecke ist, auf welche der Funke überspringen muß, daß also eine geringere Menge von Elektricität in diesem Falle den Draht durchströmt, als wenn keine Unterbrechung stattfindet.

Auffallende Erscheinungen ergaben sich, als Rieß an den Drahtenden der Unterbrechungsstelle zwei Messingscheiben von 10,4 Linien Durchmes-

ser anbrachte, die einander parallel standen. Die folgende Tabelle enthält einen Theil der von Rieß erhaltenen Resultate:

s	*q*	Die Scheiben		
		in Berührung.	0,1‴ entfernt.	1‴ entfernt.
		h	*h*	*h*
3	3	4,8	4,7	5,3
	4	7,7	7,0	7,0
	5	11,0	10,9	10,3
	6	15,6	14,5	13,7
4	4	6,0	6,0	7,3
	5	8,5	8,5	9,3
	6	12,2	11,9	12,0
	7	15,6	15,5	14,6

Für 0,1‴ Entfernung der Scheiben sind die Erwärmungen sämmtlich kleiner, als bei Berührung derselben, jedoch ist der Unterschied weit unbedeutender, als man nach der Größe des Residuums hätte erwarten sollen. Bei noch größerer Entfernung der Scheiben, für welche also ein noch größeres Residuum bleibt, finden wir aber auffallender Weise zum Theil Erwärmungen, welche selbst größer sind, als für den Fall der Berührung der Scheibe; für schwächere Ladungen ist die Erwärmung größer bei 1‴ Entfernung, als bei Berührung der Scheiben, bei stärkeren Ladungen giebt umgekehrt die Berührung der Scheiben eine stärkere Erwärmung.

Rieß hat dies sehr sinnreich auf folgende Weise wohl ganz richtig erklärt.

Bei Entfernung der Scheiben treten offenbar zwei Umstände ein, welche in entgegengesetztem Sinne auf die Erwärmung des Drahtes im Thermometer wirken. Der eine Umstand ist das schon erwähnte Zurückbleiben eines Theils der Elektricität, des Residuums, in der Batterie, wodurch offenbar die Erwärmung vermindert werden muß. Der andere Umstand, welcher dagegen die Erwärmung erhöht, bedarf etwas weitläufigerer Auseinandersetzung.

Wenn die Entfernung der beiden Scheiben kleiner ist als die Schlagweite der Batterie, so springt ein Funken über zwischen der Kugel der Batterie und der Kugel des Entladers, ein zweiter aber zwischen den beiden Scheiben.

Wenn die Entfernung der beiden Scheiben größer ist als die Schlagweite der Batterie, so kann nun zwischen den Scheiben ein Funken über-

springen, wenn die Kugel des Ausladers schon mit der Kugel der Batterie in Berührung ist. Das Ueberschlagen des Funkens zwischen den Scheiben wird hier nur dadurch möglich, daß überhaupt, wie wir oben (S. 96) gesehen haben, die Schlagweite zwischen Scheiben größer ist, als zwischen Kugeln.

Bei dem Ueberschlagen der Funken zwischen Scheiben findet eine Verdichtung der Elektricität am Rande derselben Statt, und diese Verdichtung hat höchstwahrscheinlich eine Beschleunigung der Entladung zur Folge, die sich durch eine Steigerung der Erwärmung merklich macht.

Dieser letztere Umstand, welcher die Erwärmung des Schließungsdrahtes erhöht, kann nur dann auftreten, wenn die Entfernung der Scheiben größer ist, als die Schlagweite zwischen den Kugeln. Die Scheiben mögen eine bestimmte Entfernung haben. Die Schlagweite zwischen den Kugeln ändert sich mit der Stärke der Ladung, sie ist proportional dem Bruch $\frac{q}{s}$, für schwächere Ladungen ist sie klein, für stärkere Ladungen nimmt sie zu, nur für die schwächeren Ladungen wird also die Entfernung der Scheiben größer seyn als die Schlagweite, nur bei schwächeren Ladungen kann also die erwähnte Beschleunigung der Entladung die Erwärmung so stark vermehren, daß dadurch der entgegengesetzte Einfluß des Residuums überwogen wird.

In der That sehen wir in der vorigen Tabelle, daß h bei einer Entfernung der Scheiben von 1''' nur für $s = 3$ und $q = 3$; $s = 4$ und $q = 4$; $s = 4$ und $q = 5$ größer ist, als h für den Fall der Berührung der Scheiben. In allen diesen Fällen ist $\frac{q}{s}$ nicht größer als 1,25. Für Ladungen, die so stark sind, daß $\frac{q}{s}$ größer wird als 1,25, sind die Erwärmungen der letzten Columne sämmtlich kleiner, als die entsprechenden Erwärmungen bei Berührung der Scheiben.

Ist die Entfernung der Scheiben noch größer, als die hier mögliche Schlagweite, so tritt natürlich gar keine Entladung ein.

Aehnliches ergab sich, als statt der Scheiben kleine Kugeln angewandt wurden; die Schlagweite zwischen den kleinen Kugeln ist ein wenig größer, als die Schlagweite zwischen den größern Kugeln des Ausladers und der Batterie, daher im günstigen Fall die Erwärmung der für eine Entfernung der kleinen Kugeln von 1''' nur unbedeutend höher ausfiel, als bei Berührung derselben.

40 **Erwärmung bei erschwerter Entladung.** Wenn an der Unterbrechungsstelle ein dünner Isolator eingeschaltet wird, den der Entladungsschlag durchbrechen kann, so fällt die Erwärmung um so geringer aus,

je größer der zu überwindende Widerstand ist, wie folgende Versuchsreihe zeigt.

Die Drahtenden der Unterbrechungsstelle waren mit kleinen Kugeln (5,7 und 4,4 Linien Durchmesser) versehen; es ergab sich für $s = 5$ und $q = 8$; Entfernung der Kugeln 0,2 Linien:

		Erwärmung.
Zwischen den Kugeln:	Luft	15,4
	1 Kartenblatt . .	12,0
	2 Kartenblätter. .	8,8
	Glimmerblatt . .	4,9.

Aehnliches ergab sich, als statt der Kugeln Metallscheiben oder Spitzen die Unterbrechungsstelle begränzten.

Die elektrische Entladung bewirkt also eine um so geringere Erwärmung im Schließungsbogen, je bedeutender das Hinderniß war, welches überwunden werden mußte, bevor die Entladung eintreten konnte.

Es ist hier kein Hinderniß vorhanden, das, wie bei Einschaltung eines langen Leiters in den Schließungsbogen auf die Entladung während der ganzen Dauer derselben verzögernd einwirkt, sondern ein Hinderniß, das die Entladung ganz unmöglich macht, so lange es besteht.

Die Verminderung der Erwärmung ist immer viel bedeutender, als daß man sie dem geringen Residuum zuschreiben könnte; wir müssen demnach aus obigen Versuchen den Schluß ziehen, daß ein Hinderniß, welches an irgend einer Stelle des Schließungsbogens eingeschaltet, vom Entladungsschlag durchbrochen wird, die Dauer der Entladung durch den ganzen übrigen Schließungsbogen vergrößert.

Bedient man sich zum Durchbohren von Glimmerblättern stets einer möglichst geringen Anhäufung von Elektricität, so gelingt es selten, den Glimmer an der Stelle zu durchbohren, wo er gerade den Schließungsdraht unterbricht; fast immer geht die Elektricität auf der Glimmerplatte eine längere Strecke fort und durchbohrt es an einer Stelle, die schon ersichtlich (durch Spaltung) eine geringere Continuität hat. Ist die Ansatzstelle der Leitungsdrähte nicht allzuweit vom Rande des Glimmerblattes entfernt, so findet die Entladung über den Rand hin Statt. Die Erwärmung im Thermometer fällt um so geringer aus, je größer der Weg ist, den die Elektricität auf der Oberfläche des Glimmers zu durchlaufen hat.

Die Spuren, welche die Elektricität auf das Glimmerblatt zurückläßt, sind sehr regelmäßig und zierlich. Rieß hat sie, so wie die entsprechenden Spuren auf Glasröhren, untersucht.

Spuren, welche die Elektricität auf Glas und Glimmer zurückläßt. Rieß brachte eine Glasplatte, 0,37''' dick, sorgfältig gerei- 41

nigt und erwärmt, so daß sie sich am Elektrometer nach allen Richtungen als vollkommen isolirend erwies, zwischen die Spitzen des Schließungsdrahtes, aus welchem das Thermometer entfernt worden war. Die Elektricitätsmenge 15 in 4 Flaschen gesammelt, entlud sich über den Rand der Tafel, welche $15\frac{1}{2}'''$ von der Ansatzstelle der Spitzen entfernt war, und hinterließ auf beiden Oberflächen Spuren von der Ansatzstelle bis zum Rande.

Diese Spuren sind einfarbig matt, sie knirschen bei der Berührung mit einem glatten Körper, und haben unter der Lupe ganz das Ansehen des mit grobem Sande geritzten Glases. Prüft man die Tafel am Elektrometer, indem man die Ansatzstelle zwischen den Fingern faßt, so sieht man, daß das Glas in jenen Streifen sowohl, wie an vielen nicht markirten Stellen, leitend geworden ist. Bei Behauchung der Tafel werden alle leitenden Stellen sichtbar, indem sie unbenetzt bleiben und mehr oder weniger zahlreiche Verästelungen bilden.

Nachdem die Glastafel mit Salpetersäure abgewaschen und wieder getrocknet worden war, zeigten sich jene Streifen immer noch leitend.

Ganz Aehnliches ergab sich bei andern Glasplatten.

Beim Glimmer ist das Ansehen der elektrischen Spuren ganz anders. Von der Ansatzstelle geht auf beiden Oberflächen continuirlich in gleicher Breite ein geschlängelter Streifen bis zur Durchbohrungsstelle, der im durchfallenden Lichte hellgrau gefärbt ist, im schief auffallenden Lichte aber als ein zierlich gefärbtes Band erscheint, welches von zwei scharf gezeichneten dunklen Linien eingefaßt ist, auf welche eine helle glänzende Franse folgt; der innere Theil des Bandes zwischen den Fransen zeigt verwischte Zonen von gelber, blauer, rother und grüner Färbung.

Die Glimmerblätter, welche zu diesem Versuche angewandt worden waren, zeigten sich nach wie vor als gute Isolatoren, obgleich sie beim Anhauchen mit unzähligen netzförmigen Verzweigungen bedeckt erscheinen, die nicht benetzt werden, und welche die Stellen angeben, wo die Elektricität die Oberfläche berührt hat.

Weder in Hinsicht auf die Farbenstreifen, noch auf die netzförmigen Figuren fand zwischen den beiden Oberflächen der Glimmertafel ein wesentlicher Unterschied Statt.

Bei dem Glase scheint die Elektricität nur sprungweise in die Masse einzudringen und daselbst das Kali auszuscheiden, worauf auch der Umstand hindeutet, daß die verletzten Stellen nach einiger Zeit sichtbarer werden, als gleich nach dem Versuch.

Wird ein Glimmerblatt mit Oel bestrichen, so wird es durch eine Entladung, welche außerdem die Farbstreifen hervorgebracht haben würde, an der Ansatzstelle durchbohrt. Es fand sich dann ein unregelmäßiges Loch

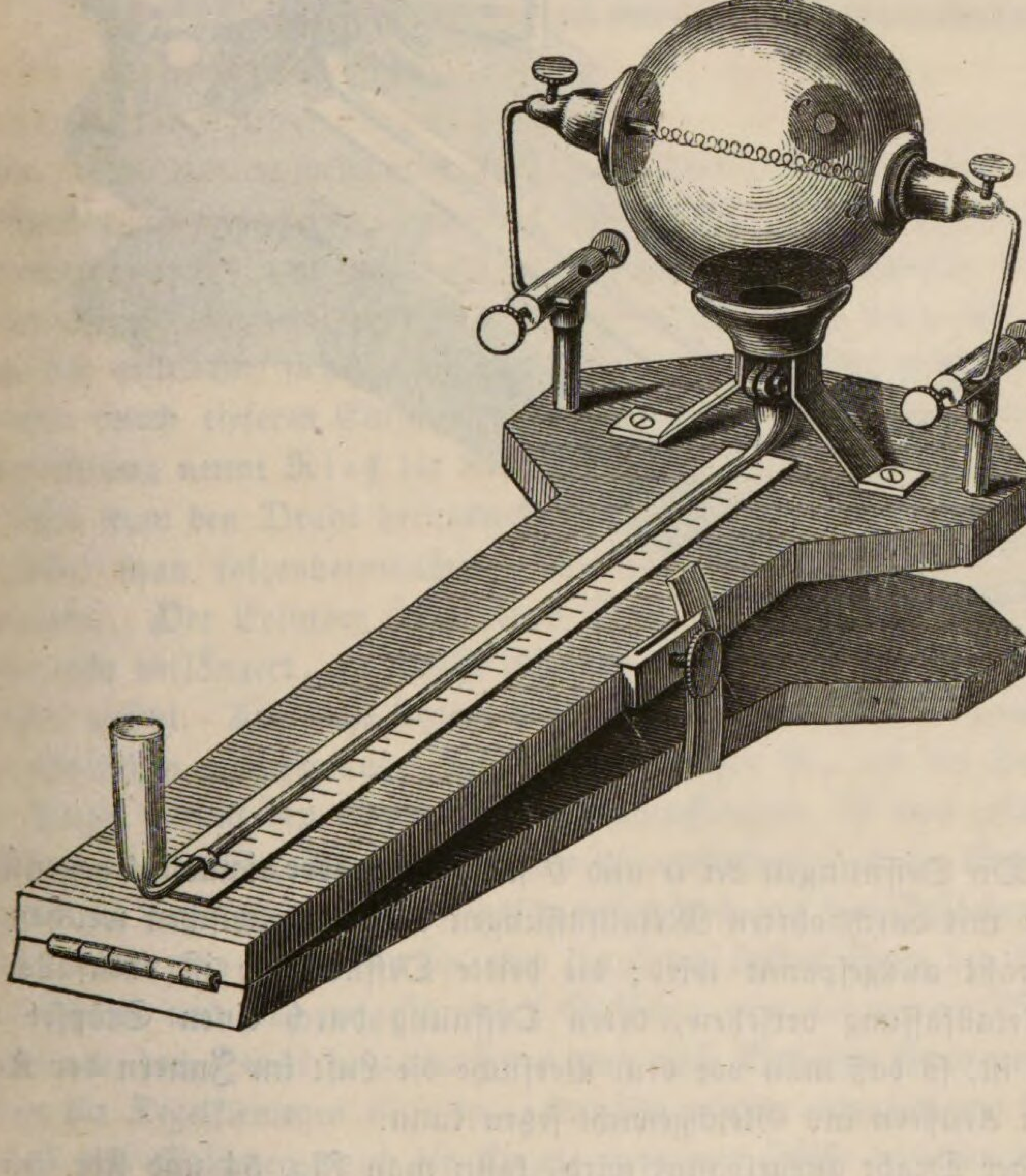
mit verbrannten Rändern und um dasselbe in geringer Ausdehnung eine Aufspaltung des Glimmers.

Durch behutsame Verringerung der elektrischen Anhäufung erhielt Rieß noch mehrere Male trotz der Oelbedeckung Entladung ohne Durchbohrung und dann Farbstreifen in ziemlicher Länge und Ausbildung nach dem Rande des Blattes oder einer früher durchbohrten Stelle zu, was darauf hinzudeuten scheint, daß der Glimmer in der Richtung des Blätterdurchganges die Elektricität besser leitet als rechtwinklig auf dieselbe.

Im Allgemeinen sind, wie bemerkt, die elektrischen Spuren auf Glas und Glimmer durchaus unähnlich, es giebt jedoch Glassorten, welche an der Oberfläche die Elektricität ziemlich gut leiten, auf denen sich ähnliche Farbstreifen erzeugen lassen, wie auf den Glimmer.

Das Luftthermometer. Das Luftthermometer, welches Rieß zu 42
seinen Versuchen anwandte, ist Fig. 52 nach einem von Kleiner in Berlin verfertigten Exemplare abgebildet.

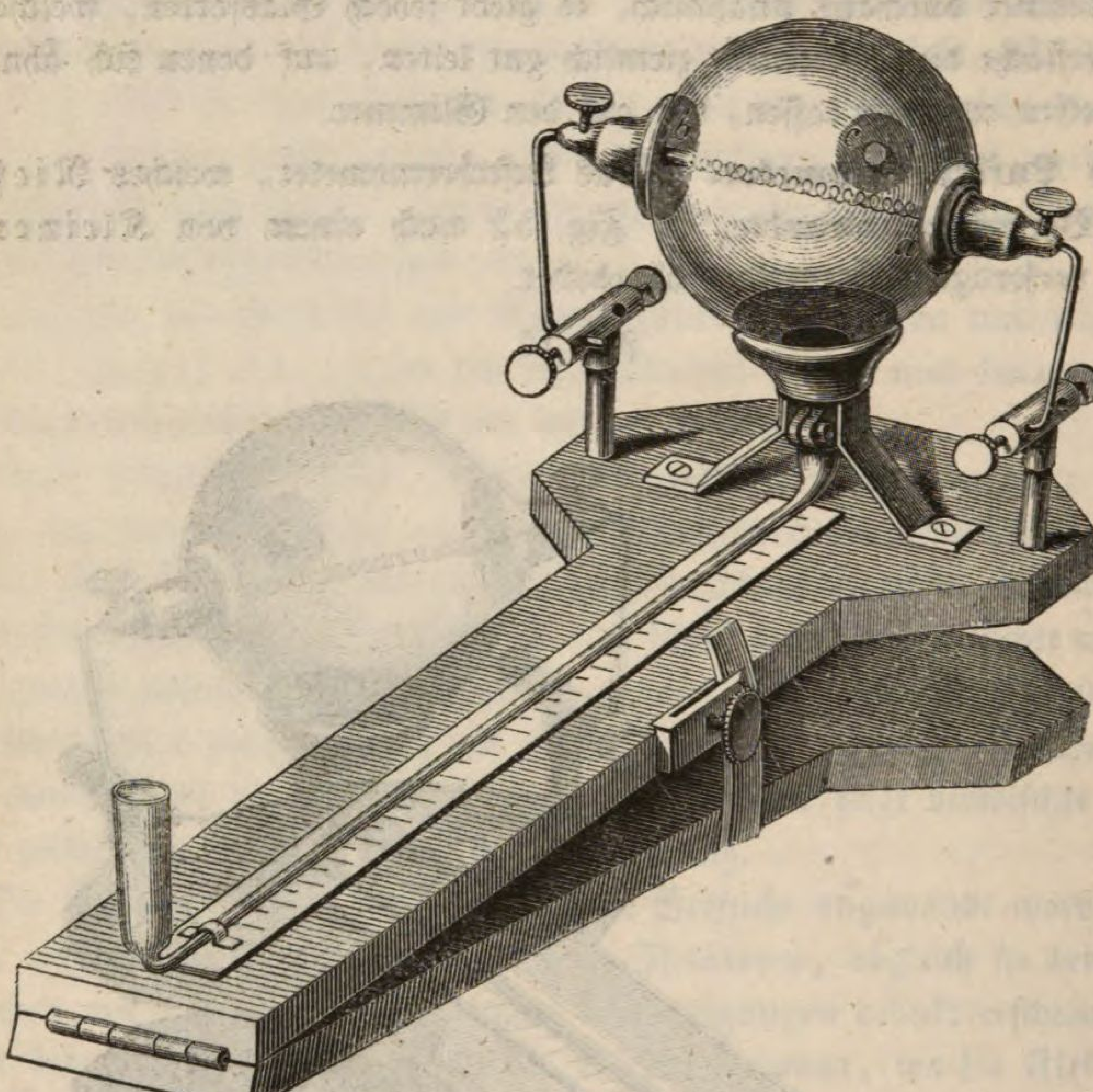
Fig. 52.



Rieß giebt eine Beschreibung seines Luftthermometers an mehreren Stellen seiner Abhandlungen und in Dove's Repertorium. Nirgends aber ist die Beschreibung ganz klar und hinlänglich durch Figuren erläutert. Es wäre in der That zu wünschen, daß die Autoren bessere Zeichnungen ihrer Apparate gäben, wodurch seitenlange und doch ungenügende Beschreibungen, die ohne Noth des Lesers Zeit rauben, vermieden würden.

Fig. 53 stellt das Instrument in $\frac{1}{4}$ der natürlichen Größe dar. Die Kugel, welche ungefähr 3 Zoll Durchmesser hat, ist an drei Stellen durch-

Fig. 53.



bohrt. Die Oeffnungen bei *a* und *b* stehen einander diametral gegenüber, und sind mit durchbohrten Metallfassungen versehen, zwischen welchen der Platindraht ausgespannt wird; die dritte Oeffnung *c* ist ebenfalls mit einer Metallfassung versehen, deren Oeffnung durch einen Stöpsel verschlossen ist, so daß man vor dem Versuche die Luft im Innern der Kugel mit dem Aeußern ins Gleichgewicht setzen kann.

Wie der Draht ausgespannt wird, kann man Fig. 54 und Fig. 55 se-

hen. Fig. 54 stellt einen Durchschnitt der Kugel in $1/2$ der natürlichen Größe dar, welche durch die Mitte der beiden Oeffnungen bei *a* und *b*

Fig. 54.

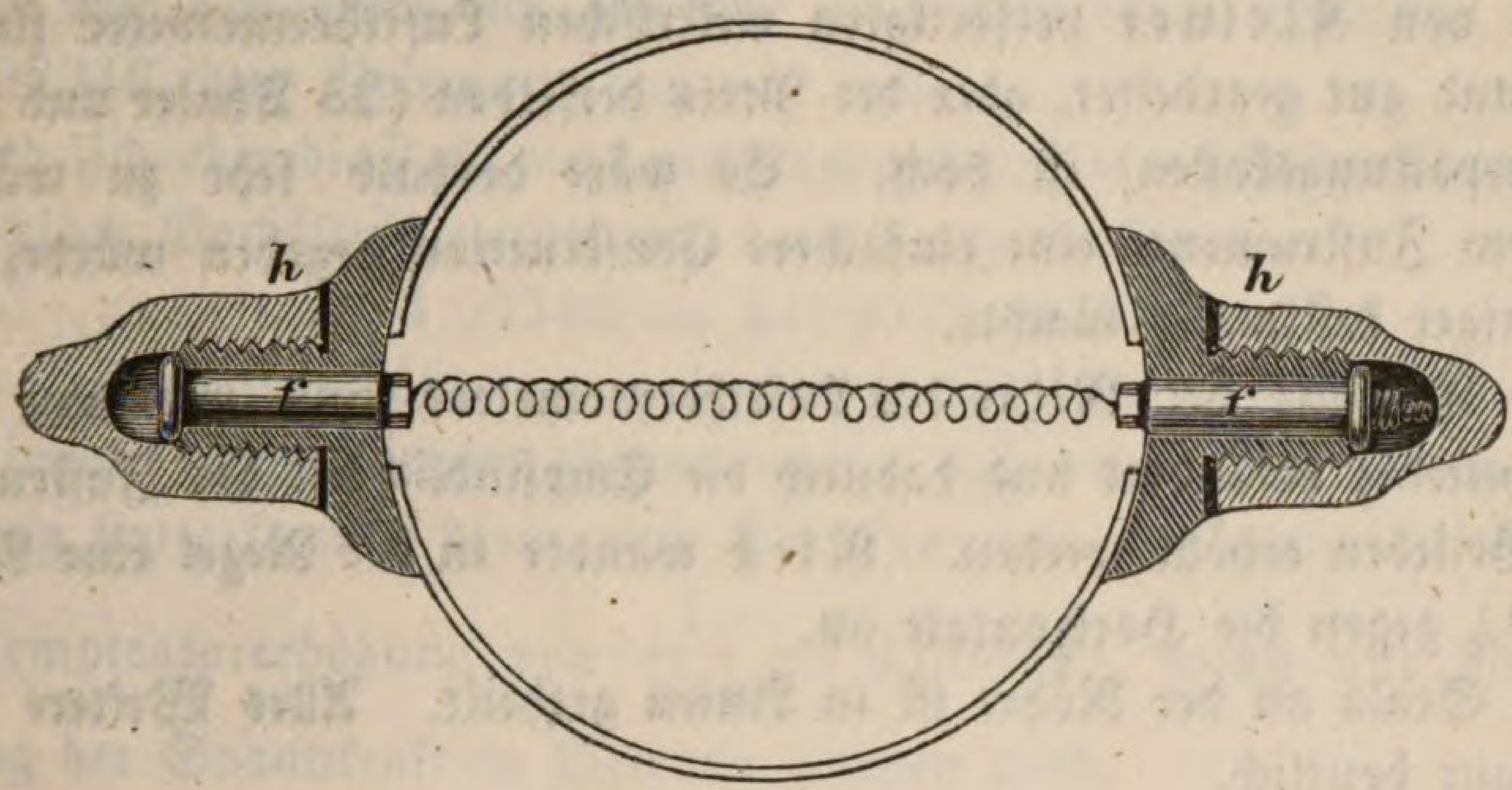
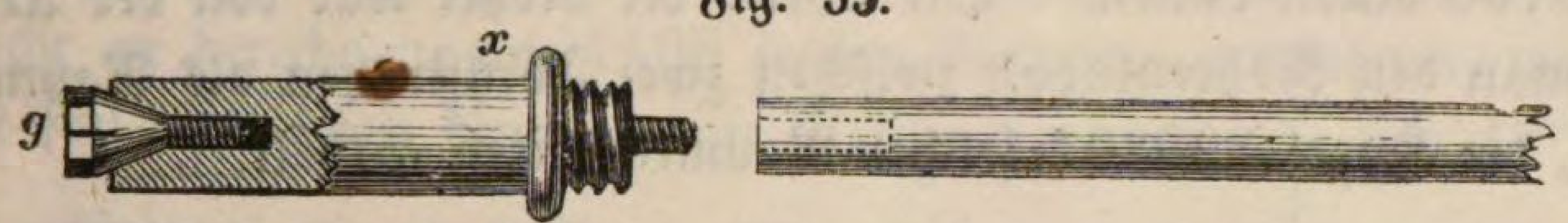


Fig. 55.



geht. Die hier aufgekitteten Fassungen haben eine ungefähr 2''' weite Oeffnung, in welche der Cylinder *f* hineinpaßt. Dieser Cylinder hat auf der nach dem Innern der Kugel gerichteten Seite eine konische Vertiefung, in welche ein eingeschlitzter Metallkegel *g* eingeschraubt wird, wie man dies Fig. 55 deutlicher sieht. In den Schlitz ist der Platindraht eingesteckt, welcher durch tieferes Einschrauben des Kegels festgeklemmt wird. Diese Vorrichtung nennt Rieß die Kegelklemmen.

Will man den Draht herausnehmen, um einen andern einzuziehen, so verfährt man folgendermaaßen. Zunächst werden die Hülsen *h* abgeschraubt. Der Cylinder *f* der einen Seite ist nach Außen hin durch eine Schraube verlängert, an welche sich eine zweite von noch engerem Durchmesser ansetzt. Auf diese letztere wird nun, wie aus Fig. 55 deutlich wird, ein Stäbchen aufgeschraubt, dessen Länge größer ist, als der Durchmesser der Kugel sammt den angekitteten Metallfassungen; ist dies geschehen, so kann man die Metallplatte *x*, welche es verhindert, daß der Cylinder *f* in die Kugel hineingezogen wird, losschrauben und auf das Stäbchen schieben. Man kann nun leicht, den Cylinder *f* auf der linken Seite der Kugel herausziehend und das angeschraubte Stäbchen von der andern Seite nachschiebend, den Draht herausnehmen und nach Belieben einen andern zwischen die Kegelklemmen einsetzen. Um ihn wieder einzuziehen, steckt man zuerst das Stäbchen durch die Kugel, zieht mit Hülfe desselben denjenigen

Cylinder *f*, an welchem es angeschraubt ist, durch dieselbe durch, schraubt die Platte *x* auf und entfernt das Stäbchen. Nun können auch die Hülsen *h* wieder aufgeschraubt werden.

Die von Kleiner verfertigten elektrischen Luftthermometer sind sehr schön und gut gearbeitet, aber der Preis derselben (25 Thaler und 2 Thaler Verpackungskosten) ist hoch. Es wäre deshalb sehr zu wünschen, daß dem Instrumente eine einfachere Construction gegeben würde, welche es weniger kostspielig machte.

Die Neigung der Röhre des Luftthermometers kann, wie man Fig. 53 sieht, beliebig verändert und dadurch die Empfindlichkeit des Instrumentes nach Belieben erhöht werden. Rieß wandte in der Regel eine Neigung von $6\frac{1}{2}$ gegen die Horizontale an.

Die Scala an der Röhre ist in Linien getheilt. Alles Weitere ist aus der Figur deutlich.

Der Inhalt der Kugel des Instrumentes, welches Rieß gebrauchte, war 40766 Kubik-Linien. Die Weite der Röhre war von der Art, daß wenn man den Röhreninhalt zwischen zwei Theilstrichen als Raumeinheit nimmt, die Kugel 320307 solcher Raumeinheiten enthält.

43 **Theorie des Instrumentes.** Wenn die Luft in der Kugel erwärmt wird, so wird die Flüssigkeitssäule deprimirt; dadurch wird einestheils die Spannkraft der Luft, anderentheils das Volumen derselben vermehrt.

Nun ist aber die Vermehrung der Spannkraft sowohl, als auch die Volumenvergrößerung der Temperaturerhöhung proportional, folglich auch die Summe beider Wirkungen; d. h. die Depression ist der Temperaturerhöhung proportional.

Wir wollen nun zunächst berechnen, wie groß die Temperaturerhöhung der Luft in der Kugel ist, welche eine Depression von 1''' bewirkt.

Nehmen wir an, die Temperatur der Luft sey 15° C., der Barometerstand sey 336'''.

Die Flüssigkeit in der Röhre war 15mal leichter als Quecksilber; ein Barometer von dieser Flüssigkeit würde also eine Höhe von $15 \times 336 = 5040'''$ haben.

Unsere Röhre steht aber nicht vertikal, sie ist 6,5° gegen den Horizont geneigt. Die Flüssigkeitssäule in einer so geneigten Röhre müßte also eine Länge von $\frac{5040}{sin.\ 6{,}5^0} = \frac{5040}{0{,}113} = 44600'''$ haben, um den Luftdruck das Gleichgewicht zu halten, wir können also die 44600''' als das Maaß der Spannkraft der Luft in der Kugel betrachten.

Wird nun die 15° warme Luft um 1° erwärmt, so dehnt sie sich aus im Verhältniß von

$$(1 + 15 \,.\, 0{,}00365) \text{ zu } (1 + 16 \,.\, 0{,}00365)$$
$$1{,}05475 : 1{,}05840$$
$$1 : 1{,}00346$$

die Luft von 15° dehnt sich also bei einer Temperaturerhöhung von 1° um 0,00346 ihres Volumens von 15° aus.

Wenn sich aber die Luft nicht ausdehnen kann, so wird ihre Spannung in demselben Verhältniß zunehmen, daraus ergiebt sich

$$1 : 1{,}00346 = 44600''' : 44754.$$

Eine Temperaturerhöhung von 1° bringt also eine Depression von 154 Linien in der Röhre hervor, angenommen, daß dabei keine Volumenvergrößerung stattgefunden hätte, eine Depression von 1''' entspricht demnach einer Temperaturerhöhung von $\frac{1}{154} = 0{,}00649°$, wenn nur die Vermehrung der Spannkraft in Betracht gezogen wird.

Der Inhalt der Kugel beträgt 320307 Einheiten der Röhrentheilung. Eine Temperaturerhöhung von 15 auf 16° würde die Luft in der Kugel, wie leicht zu berechnen, um 1108 solcher Einheiten ausdehnen, wenn sich die Luft frei ausdehnen könnte, eine Volumenvermehrung von 1''' in der Röhre entspricht also einer Temperaturerhöhung von $\frac{1}{1108} = 0{,}0009°$.

Eine Depression von 1''' entspricht also, wenn man die Vermehrung der Spannung und des Volumens berücksichtigt, einer Temperaturerhöhung von

$$0{,}00649 + 0{,}0009 = 0{,}0074°.$$

Von der Temperaturerhöhung der Luft in der Kugel kann man auf die Temperaturerhöhung des Drahtes schließen. Es sey t die Temperatur der Luft und des Drahtes vor der Entladung, T die Temperatur, auf welche der Draht durch den Entladungsschlag steigt; t' die Temperaturerhöhung, welche der Draht durch Abgabe seines Wärmeüberschusses an der Luft abgiebt, so ist

$$MC\,(T - t') = mc\,(t' - t),$$

wenn M die Masse und C die specifische Wärme des Platindrahtes, m die Masse und c die specifische Wärme der Luft in der Kugel bezeichnen. Daraus ergiebt sich

$$T - t' = (t' - t)\,\frac{mc + MC}{MC}$$

oder

$$T' = (t' - t)\left(1 + \frac{mc}{MC}\right) = 0{,}0074\,h\left(1 + \frac{mc}{MC}\right)$$

wenn man mit T' die Temperaturerhöhung des Drahtes bezeichnete. $t' - t$ ist die Temperaturerhöhung der Luft, welche sich nach dem obigen leicht aus der beobachteten Depression berechnen läßt.

Der Inhalt der Kugel ist 40766 Kubiklinien; das specifische Gewicht der Luft bei 15° ist 0,00114, die specifische Wärme der Luft 0,188, wir haben demnach

$$T' = (0,0074 \,.\, h) \left(1 + \frac{40766 \,.\, 0,00114 \,.\, 0,188}{3,14 \,.\, l \,.\, r^2 \,.\, 21 \,.\, 0,031}\right),$$

wenn r den Halbmesser, l die Länge des Drahtes in der Kugel bezeichnet. 21 ist das specifische Gewicht, 0,0031 die specifische Wärme des Platins.

Führt man die angedeuteten Multiplicationen aus, so kommt

$$T' = (0,0074 \, h) \left(1 + \frac{8,737}{2,044 \,.\, l \, r^2}\right).$$

Nach dieser Formel kann man jederzeit die Temperaturerhöhung T' des Drahtes berechnen, wenn die entsprechende Depression h beobachtet, und die Dimensionen des Platindrahtes bekannt sind.

Für einen Draht, für welchen $r = 0,036'''$
$l = 59,7'''$

ergab sich folgende Versuchsreihe:

s	3	4	5
q	h	h	h
4	5,3	4,0	
5	7,1	6,0	5
6	10,2	8,2	6,8
7	12,8	10,7	8,4
8			11,0

Berechnet man für alle zusammengehörige Werthe von s, h und q den Werth von n in der Gleichung

$$h = n \,.\, \frac{q^2}{s},$$

so erhält man als Mittelwerth für n den Werth 0,91. Für den Fall, daß $\frac{q^2}{s} = 1$, wäre $h = 0,91$, die entsprechende Temperaturerhöhung also $0,91 \,.\, 0,0074 = 0,006734$, die Temperaturerhöhung des Drahtes also

$$T' = 0,006734 \,(1 + 55,24)$$
$$T' = 0,3787$$

Rieß hat für diesen Fall aus seinen Formeln, die auf weniger elementarem Wege entwickelt sind, bei einer Temperatur von 12,5° $T' = 0,3975$ erhalten, was unserem Werthe fast gleich ist.

Der Quotient $\frac{mc}{MC}$ wird um so größer, je dünner und kürzer der

Draht, je kleiner also M wird. In den meisten Fällen, welche bei solchen Versuchen vorkommen, ist wie in obigem speciellen Fall M doch so klein, daß der Bruch $\frac{mc}{MC}$ bedeutend größer ist als 1.

Wir haben bei diesen Betrachtungen eine Temperatur von 15⁰ angenommen. Wäre die Temperatur der Luft nicht 15⁰ gewesen, sondern 0⁰, so wäre die Luft im Verhältniß von 1 zu 1,0547 dichter, also m in demselben Verhältniß größer geworden.

Von einer Lufttemperatur von 15⁰ ausgehend, hatten wir oben gefunden, daß eine Depression von 1''' einer Temperaturerhöhung von 0,0074⁰ entspricht. Hätten wir eine Temperatur von 0⁰ zum Ausgangspunkte genommen, so hätten wir gefunden, daß eine Depression von 1''' einer Temperaturerhöhung von 0,0070⁰ entspricht.

Wären also die Versuche bei 0⁰ angestellt worden, so wäre eine Gleichung statt des Factors 0,0074 der Factor 0,0070, also ein Factor zu setzen, welcher im Verhältniß von 1,0571 kleiner ist; dagegen wäre m also der Werth des Ausdrucks in der Klammer (da ja 1 gegen $\frac{mc}{MC}$ sehr klein ist) im Verhältniß von 1 : 1,0547 größer geworden. Der eine Factor wäre also fast genau in demselben Verhältniß größer geworden, in welchem der andere abgenommen hat, der Werth von T' würde also fast ganz unverändert geblieben seyn, woraus hervorgeht, daß kleinere Schwankungen in der Temperatur der umgebenden Luft ganz unberücksichtigt bleiben können, daß sie also keine Correction des für 15⁰ Lufttemperatur berechneten Werthes von T' nothwendig machen.

Zu demselben Resultat führt eine ähnliche Betrachtung auch in Beziehungen auf den Barometerstand, d. h. obgleich unsere Formel für einen Barometerstand von 336 Linien berechnet ist, so kann diese Formel doch auch für andere Barometerstände benutzt werden, weil die mittleren Schwankungen des Barometers keinen merklichen Einfluß auf den Werth von T' haben.

Einfluß der Länge des Schließungsbogens auf die Erwärmung in demselben. Wir haben oben gesehen, daß wenn derselbe Entladungsschlag, durch mehrere hinter einander in den Schließungsbogen eingeschaltete Drähte geht, daß alsdann die Erwärmung der einzelnen Drahtstücke von ihrer Länge unabhängig der 4ten Potenz ihrer Halbmesser umgekehrt proportional ist. 44

Sobald jedoch der Schließungsbogen durch Einschaltung neuer Drähte eine namhafte Verlängerung erfährt, so wird dadurch die Erwärmung in allen Theilen des Schließungsbogens vermindert.

Um den Einfluß der Verlängerung des Schließungsbogens zu untersu-

chen, schaltete Rieß mittelst des Henley'schen Ausladers der Reihe nach verschieden lange Stücke desselben Kupferdrahtes in den Schließungsbogen ein, während im Thermometer stets derselbe Platindraht blieb. Mit jeder Einschaltung wurde nun eine Versuchsreihe in der Art gemacht, wie die auf Seite 103 angeführte. Wir wollen die Länge des eingeschalteten Kupferdrahtes (welcher 0,29''' dick war) mit λ bezeichnen.

für $\lambda = 0$ ergab sich $h = 0{,}78 \frac{q^2}{s}$

» $\lambda = 9{,}6'$ » » $h = 0{,}69 \frac{q^2}{s}$

» $\lambda = 49{,}0$ » » $h = 0{,}48 \frac{q^2}{s}$

» $\lambda = 98{,}4$ » » $h = 0{,}34 \frac{q^2}{s}$

» $\lambda = 147{,}7$ » » $h = 0{,}27 \frac{q^2}{s}$

» $\lambda = 246{,}4$ » » $h = 0{,}21 \frac{q^2}{s}$.

Wir sehen aus dieser Zusammenstellung, daß die Erwärmung mit zunehmender Länge des Einschaltungsdrahtes, für gleiche Werthe von $\frac{q^2}{s}$ fortwährend abnimmt.

Die Werthe von h sind offenbar den Factoren von $\frac{q^2}{s}$ proportional. Für $\frac{q^2}{s} = 1$ besteht zwischen h und λ folgende Beziehung

$$h = \frac{0{,}78}{1 + 0{,}013\,\lambda} \quad \ldots \; 1)$$

Für $\lambda = 0$ giebt diese Gleichung $h = 0{,}78$; für $\lambda = 49$ giebt sie $h = 0{,}476$; für $\lambda = 147{,}7$ giebt sie 0,267 u. s. w., also lauter Werthe, die mit den oben mitgetheilten Beobachtungsresultaten sehr gut stimmen, so daß wir diese Gleichung wirklich für den Ausdruck der Beziehung zwischen h und λ nehmen können.

Dividiren wir Zähler und Nenner dieser Gleichung mit 0,013, so kommt

$$h = \frac{59{,}98}{76{,}9 + \lambda}.$$

In dieser Form finden wir die größte Aehnlichkeit mit dem Ohm'schen Gesetz. Der Entladungsschlag hatte bei diesen Versuchen, außer der veränderlichen Länge λ des eingeschalteten Kupferdrahtes, noch den übrigen

unveränderlichen Theil des Schließungsbogens, in welchem auch der Platindraht des Thermometers enthalten war, zu durchlaufen.

Jede Verlängerung des Schließungsbogens wirkt vermindernd auf die Temperaturerhöhung, und zwar ist die Temperaturerhöhung umgekehrt der Länge des Schließungsbogens proportional, wie sich aus jener Formel ergiebt, wenn wir annehmen daß der unveränderliche Theil des Schließungsbogens eben so wirkt, wie ein 76,9′ langes Stück Kupferdraht von der Dicke des Einschaltungsdrahtes.

Der obige Werth von h entspricht nur einem speciellen Fall; wir können allgemein setzen

$$h = \frac{\frac{a}{b}}{\frac{1}{b} + \lambda} \cdot \frac{q^2}{s} = \frac{a'}{L + \lambda},$$

wenn a' für $\frac{a}{b}$ und L für $\frac{1}{b}$ gesetzt wird. Für die Wärmeentwicklung gilt also hier dasselbe Gesetz wie für die magnetische Wirkung der galvanischen Kette.

L drückt hier offenbar die reducirte Länge des Schließungsbogens aus, d. h. es giebt an, wie lang ein Platindraht seyn müßte, welcher bei gleicher Dicke mit dem eingeschalteten, dessen Länge λ ist, denselben Verzögerungswerth giebt, wie der gesammte Schließungsbogen, mit Ausnahme des im Auslader befindlichen Platindrahtes, dessen Länge λ ist.

Diese letztere Umwandlung, wodurch das Rieß'sche Erwärmungsgesetz eine dem Ohm'schen Gesetze ganz gleiche Form erhält, hat Rieß mit seiner Formel nicht vorgenommen. Nur im Eingang seiner Abhandlung hat er im Allgemeinen darauf aufmerksam gemacht, daß eine Uebereinstimmung seiner Resultate mit den magnetischen Wirkungen der galvanischen Kette nicht zu übersehen sey, ohne sie jedoch weiter hervorzuheben und nachzuweisen, ja er hat in seiner Darstellung, wie er selbst sagt, absichtlich Bezeichnungen vermieden, welche an den Galvanismus erinnern könnten, weil die Elektricitätslehre nicht an theoretischen Betrachtungen und Analogien, wohl aber an sicher begründeten Versuchen Mangel hat.

Die Gleichung 1 auf allgemeine Form gebracht, heißt

$$h = \frac{a}{1 + b\,\lambda}$$

woran Rieß folgende Betrachtung anschließt.

Durch Verlängerung des Schließungsbogens wird die Erwärmung vermindert. Schaltet man aber nun statt eines Metalldrahtes ein Stück feuchten Holzes, oder eine mit Wasser gefüllte Glasröhre als Zwischenleitung ein, so sind die stärksten Ladungen der Batterie nicht mehr im

Stande, auch nur eine Senkung von 0,1''' zu bewirken. Hier aber ist die Entladung der Batterie nicht mehr momentan, wie bei der Einschaltung auch des längsten Kupferdrahtes, sie erfordert eine wahrnehmbare Zeit. Daraus läßt sich schließen, daß wir auch einen Unterschied in der Entladungszeit beobachten würden, je nachdem ein kurzer oder ein langer Kupferdraht eingeschaltet ist, wenn wir mit schärferen Sinnen begabt wären. Die Erwärmung des Platindrahtes im Thermometer scheint mit der Zeit, welche die Entladung dauert, im einfachen umgekehrten Verhältniß zu stehen. Ist eine Erwärmung a beobachtet worden, indem eine gewisse Elektricitätsmenge von gewisser Dichtigkeit in der Zeit 1 entladen wurde, so wird die Entladungszeit um $b\lambda$ vergrößert, wenn ein Draht von der Länge λ eingeschaltet wird, und die Erwärmung ist nun

$$h = \frac{a}{1 + b\lambda}$$

oder die Erwärmung eines Drahtes durch die Entladung der elektrischen Batterie ist der Dauer der Entladung umgekehrt proportional; die Dauer der Entladung wird durch Verlängerung des Schließungsdrahtes um eine Zeit verzögert, welche der zugesetzten Drahtlänge proportional ist.

45 **Einfluß der Dicke des Schließungsbogens auf die Erwärmung in demselben.** Um den Einfluß der Dicke des Schließungsbogens auf die Erwärmung zu untersuchen, ließ Rieß den eingeschalteten Kupferdraht fort, welchen er bei den vorigen Versuchen angewandt hatte, und brachte statt desselben successiv Platindrähte von verschiedenen Dimensionen zwischen den Armen des Henley'schen Ausladers an. Es ergab sich nun, daß die Erwärmung im Thermometer desto geringer ausfiel, je dünner bei gleicher Länge der eingeschaltete Platindraht war. Die auf diese Weise erhaltenen Resultate passen in die Formel

$$T = \frac{a}{1 + \frac{b\lambda}{\varrho^2}} \frac{q^2}{s},$$

in welcher ϱ den Halbmesser des Drahtes bezeichnet. Dies heißt in Worten ausgedrückt:

Die Erwärmung eines Drahtes durch elektrische Entladung ist der Dauer dieser Entladung umgekehrt proportional; durch Einschaltung von homogenen Drähten wird die Entladung um eine Zeit verzögert, welche der Länge des eingeschalteten Drahtes direct, seinem Querschnitte umgekehrt proportional ist.

46 **Erwärmung im Stamme eines verzweigten Schließungsdrahtes.** Hat man ermittelt, welche Verzögerung der Entladung ein in

den Schließungsbogen der Batterie eingeschalteten Draht α hervorbringt, hat man auf gleiche Weise den Verzögerungswerth eines zweiten Drahtes β ermittelt, so kann nun gefragt werden, welches die Verzögerung sey, welche beide Drähte gleichzeitig nebeneinander als Zweige in den Schließungsbogen eingeschaltet, hervorbringen.

Die beistehenden schematischen Figuren mögen dazu dienen, deutlicher zu machen, wie diese Frage zu verstehen sey.

In Fig. 56 stelle b die Batterie, t das Luftthermometer, α ein in den Schließungsbogen eingeschaltetes Drahtstück dar.

Fig. 56.

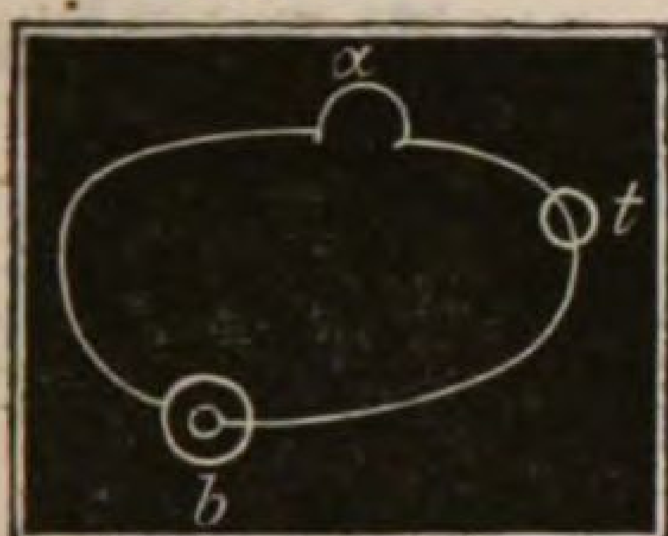


Fig. 57.

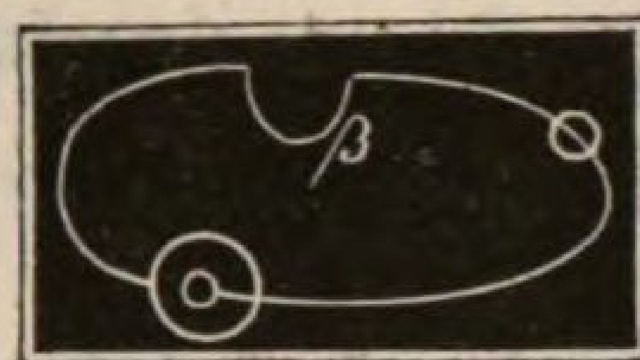
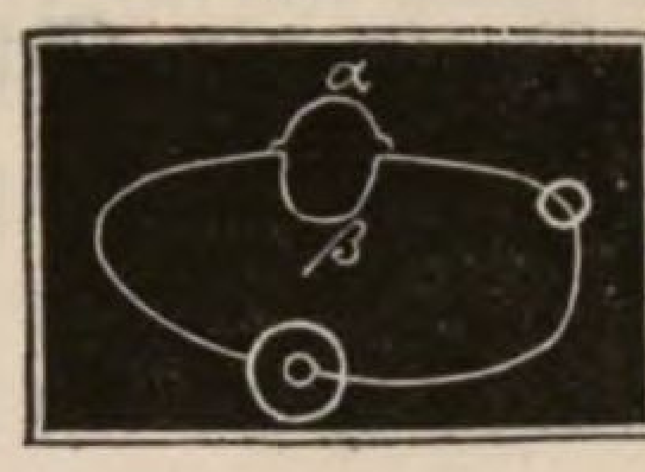


Fig. 58.



In den beiden folgenden Figuren bezeichnen b und t dieselben Dinge, in Fig. 57 ist aber statt α der Draht β, und in Fig. 58 sind beide Drahtstücken neben einander so eingeschaltet, daß sie eine Verzweigung bilden.

Wenn man nun für eine bestimmte Ladung der Batterie die Erwärmung des Luftthermometers bei den Combinationen, Fig. 56 und Fig. 57 kommt, so fragt sich, welches ist für dieselbe Ladung die Erwärmung des Luftthermometers bei der Combination Fig. 58.

Rieß hat diese Frage im 63sten Bande, Seite 486 von Poggendorff's Annalen behandelt.

Wie wir soeben gesehen haben, läßt sich die Erwärmung des Luftthermometers für die Einheit der Ladung durch die Formel

$$h = \frac{a}{1 + z}$$

darstellen, wenn a die Erwärmung anzeigt, welche stattfindet, wenn nur die unveränderlich im Schließungsbogen bleibenden Stücke die Batterie schließen, z aber die Zeit bedeutet, um welche die Entladung verzögert wird, wenn noch irgend ein Drahtstück in den Schließungsbogen eingeschaltet wird, vorausgesetzt, daß man die Zeit zur Einheit nimmt, in welcher die Batterie entladen wird, wenn das fragliche Drahtstück aus dem Schließungsbogen bleibt.

Hat man durch Versuche den Verzögerungswerth z für einen, in den Schließungsbogen eingeschalteten Draht α in derselben Weise, alsdann den Verzögerungswerth z' für einen zweiten Draht β ermittelt, so kann man durch theoretische Betrachtungen ableiten, welches der Verzögerungswerth

für beide, auf die in Fig. 58 angedeutete Weise, nebeneinander eigeschaltete Draht sey.

Der eine Draht α entladet die Einheit der Elektricitätsmenge in der Zeit z; in der Zeiteinheit ist er also im Stande, die Elektricitätsmenge $\frac{1}{z}$ zu entladen.

Eben so ergiebt sich, daß der zweite Draht β in der Zeiteinheit die Elektricitätsmenge $\frac{1}{z'}$ entladen kann.

In der Zeiteinheit entladen also beide Drähte α und β nebeneinander (Fig. 58), in den Schließungsbogen eingeschaltet, die Elektricitätsmenge $\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}$.

Daraus ergiebt sich nun leicht, daß bei der Combination Fig. 58 die beiden Drähte die Elektricitätsmenge 1 in der Zeit $\frac{1}{\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}}$ entladen.

Wenn also

$$h = \frac{a}{1 + z} \frac{q^2}{s}$$

die Erwärmung des Luftthermometers ist, wenn sich der Draht α im Schließungsbogen befindet; wenn ferner

$$h' = \frac{a}{1 + z'} \frac{q^2}{s}$$

für dieselbe Ladung die Erwärmung des Luftthermometers ist, wenn der Draht β in den Schließungsbogen eingeschaltet ist, so ist

$$h'' = \frac{a}{1 + \frac{1}{\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}}} \frac{q^2}{s}$$

die Erwärmung, wenn die Drähte α und β gleichzeitig in der Fig. 58 angedeuteten Weise eine Verzweigung bildend, eingeschaltet sind.

Nach derselben Schlußweise ergiebt sich auch, daß wenn die Verzögerungswerthe dreier Drähte z, z' und z'' sind, daß alsdann, wenn diese drei Drähte neben einander in den Schließungsbogen eingeschaltet worden, $\frac{1}{\frac{1}{z} + \frac{1}{z'} + \frac{1}{z''}}$, der Verzögerungswerth der ganzen Verzweigung ist.

Die Richtigkeit dieser Schlußfolgerungen hat Rieß durch zahlreiche Versuche bewiesen, von denen ich hier einige anführe.

Die Batterie, die zu allen diesen Versuchen angewandt wurde, bestand aus 4 Flaschen von 2,6 Quadratfuß innerer Belegung. Es wurde nun zwischen die constanten Theile des Schließungsbogens der Reihe nach verschieden lange Stücke von stets gleich dickem Platindraht eingeschaltet, durch jeden Draht verschiedene Elektricitätsmengen entladen, und so ergab sich aus der Combination dieser Versuche für das a der obigen Gleichung der Werth 1,232. Auf welche Weise a aus der Combination mehrerer solcher Versuche bestimmt werden kann, ergiebt sich aus den Entwickelungen auf Seite 104.

Es wurde nun ein Platindraht α eingeschaltet (es ist hier nicht nöthig, seine Dimensionen weiter zu kennen) und verschiedene Elektricitätsmengen entladen, aus welchen Versuchen sich für die Einheit der Ladung $h = 0{,}81$ ergab, es ist also

$$0{,}81 = \frac{1{,}232}{1 + z}$$

und daraus $z = 0{,}5209$ und $\frac{1}{z} = 1{,}919$; statt α wurde der Platindraht β eingeschaltet, und es ergab sich für die Einheit der Ladung $h = 0{,}94$, mithin $z' = 0{,}3107$ und $\frac{1}{z'} = 3{,}219$.

Sind die Drähte α und β gleichzeitig als zwei Zweige in den Schließungsbogen eingeschaltet, so muß nach unserer Betrachtung die Erwärmung des in den Stamm des Schließungsbogens eigeschalteten Thermometers seyn

$$h = \frac{1{,}231}{1 + \frac{1}{1{,}919 + 3{,}219}} = \frac{1{,}231}{1 + \frac{1}{5{,}138}}$$
$$= 1{,}031$$

Der Versuch gab $h = 1{,}03$.

Bei der Schließung durch einen Zweig α' ergab sich

$$h = 0{,}386 \text{ also } \frac{1}{z} = 0{,}4563.$$

Bei der Schließung durch einen Zweig β'

$$h = 0{,}519 \text{ also } \frac{1}{z'} = 0{,}7279.$$

Bei der Schließung durch einen Zweig γ' (Eisendraht)

$$h = 0{,}449 \text{ also } \frac{1}{z''} = 0{,}5734$$

es ist demnach

$$\frac{1}{z} + \frac{1}{z} + \frac{1}{z''} = 1{,}758,$$

es ergiebt sich also, wenn der Bogen durch die drei Zweige gleichzeitig geschlossen wird, für die Einheit der Ladung als Erwärmung des Thermometers

$$h = \frac{1{,}232}{1 + \frac{1}{1{,}758}} = 0{,}7851.$$

Die Versuche gaben für diese Combination

$$h \doteq 0{,}784.$$

Weitere Versuchsreihen gaben eine gleiche Uebereinstimmung der berechneten und beobachteten Werthe.

47 **Erwärmung in einem Zweige des Schließungsbogens.** Wir haben gesehen, daß durch zwei Zweige des Schließungsbogens die Elektricitätsmenge q in der Zeit $\frac{1}{\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}}$ entladen wird, wenn z und z' die Zeit bezeichnet, in welcher jeder der beiden Zweige für sich allein dieselbe Elektricitätsmenge zu entladen im Stande ist. In der Zeiteinheit kann der erste Zweig die Elektricitätsmenge $\frac{q}{z}$ entladen, folglich ist die Elektricitätsmenge, welche den ersten Zweig in der Zeit $\frac{1}{\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}}$ entladet, gleich $\frac{q}{z\left(\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}\right)}$; eben so entladet der zweite Zweig in derselben Zeit die Elektricitätsmenge $\frac{q}{z'\left(\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}\right)}$.

Demnach ist die Erwärmung im ersten Zweig

$$h_{\text{n}} = \frac{a}{1 + \frac{1}{\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}}} \cdot \frac{q^2}{s \,.\, z^2 \left(\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}\right)^2}$$

$$= \frac{a}{\left(\frac{1}{z} + \frac{1}{z'}\right)\left(1 + \frac{1}{z} + \frac{1}{z'}\right) z^2} \cdot \frac{q^2}{s}.$$

Rieß fand auch diese Formel durch seine Versuche bestätigt.

Um in die Zweige ein Luftthermometer einschalten zu können, ohne sonst etwas am Schließungsbogen zu ändern, befanden sich in den Zweigen Platindrähte mit denselben Verbindungsstücken, und von gleicher Länge und Dicke wie der Platindraht im Thermometer, so daß man diese Draht-

stücke aus dem Zweige wegnehmen, und statt dessen den Thermometer einschalten konnte; die Stelle im Stamm, wo vorher der Thermometer sich befand, wurde dann durch eine gleichwerthige Drahtverbindung ausgefüllt.

Bei allen diesen Versuchen waren die Zweige nur sehr kurz, und nur für diesen Fall finden obige Formeln eine Anwendung. Wenn die Zweige länger sind, so kann jeder in dem andern einen gleichgerichteten Nebenstrom induciren. Wenn nun aber der Hauptstrom in α einen Nebenstrom in β inducirt, so ist α gleichsam die Schließung des Nebendrahts β, der in β erregte Nebenstrom wird also α in einer Richtung durchlaufen, welche der Richtung des Hauptstromes entgegengesetzt ist; dazu kommt noch der durch β in α erregte Nebenstrom. Durch diese Nebenströme kann aber die Wirkung des Hauptstromes nicht allein in den Zweigen, sondern auch im Stamme modificirt werden. Diese sehr complicirten Störungen des Entladungsstromes in einem verzweigten Drahte mögten aber wohl, wie Rieß richtig bemerkt, schwerlich unter ein allgemein gültiges Gesetz zu bringen seyn.

Elektrische Verzögerungskraft der Metalle. An die eben besprochenen Untersuchungen schließt sich eine höchst interessante und wichtige Arbeit von Rieß über die elektrische Verzögerungskraft der Metalle an. 48

Wir haben gesehen, daß ein Draht mittelst des Henley'schen Ausladers in den Schließungsbogen gebracht, die Entladung verzögert und daß in Folge dieser Verzögerung die Depression im Luftthermometer abnimmt. Es bleibe nun der Draht im Thermometer unverändert derselbe, man schalte aber einmal einen Platindraht, dann einen Kupferdraht von gleicher Länge und Dicke in den Schließungsbogen ein, so wird man keine gleiche Depression erhalten, woraus hervorgeht, daß diese Drähte, obgleich sie gleiche Dimensionen haben, die elektrische Entladung doch nicht in gleichem Maaße verzögern, daß also die Verzögerungskraft der beiden Metalle specifisch verschieden ist.

Bei gleicher Länge und Dicke wird man bei dem eingeschalteten Kupferdraht eine größere Depression erhalten, als für den Platindraht, der Kupferdraht verzögert also die elektrische Entladung weniger als der Platindraht.

Für die Betrachtung und Rechnung wäre nun Folgendes die einfachste Methode, die Verzögerungskraft verschiedener Metalle zu vergleichen. Man spanne zunächst einen Platindraht in den Henley'schen Auslader und ermittle die Depression, welche eine bestimmte Ladung der Batterie hervorbringt. Nun spanne man den andern Draht statt des Platindrahtes ein (der jedoch mit dem Platindraht gleiche Dicke haben muß) und verlängere oder verkürze ihn so lange, bis dieselbe Ladung der Batterie

denselben Effect hervorbringt, wie bei dem zuvor angewandten Kupferdraht; die verzögernden Kräfte verhalten sich dann umgekehrt wie die eingeschalteten Drahtlängen.

Ein Kupferdraht müßte z. B. bei gleicher Dicke 6,44mal so lang seyn, wie ein Platindraht, um gleiche Verzögerung zu bewirken; die verzögernde Kraft des Platins ist also 6,44mal so groß wie die des Kupfers. Setzen wir die verzögernde Kraft des Platins gleich 1, so ist demnach die verzögernde Kraft des Kupfers 0,1552.

Dies wäre, wie gesagt, für die Betrachtung und Rechnung die einfachste Methode. Die Ausführung dieser Versuche würde aber sehr mühsam seyn. Rieß hat es deswegen vorgezogen, die Versuche mit Drahtstücken von bestimmter Länge und Dicke anzustellen, die entsprechenden Depressionen zu beobachten und daraus dann die Verzögerungskraft mit Hülfe der oben gefundenen Gesetze zu berechnen.

Bei den folgenden Versuchen war im Thermometer stets ein und derselbe Platindraht ausgespannt (seine Länge war 59,25''', sein Halbmesser 0,04098'''). Es wurde nun ein Platindraht von derselben Dicke, aber 34,67''' Länge in den Auslader gebracht. Eine nach der oben näher beschriebenen Methode angestellte Versuchsreihe, bei welcher q und s variirt und stets die entsprechende Depression beobachtet wurde, gab als Resultat

$$h = 1{,}37 \frac{q^2}{s},$$

ein gleich dicker Platindraht von 87,62''' Länge gab

$$h = 1{,}01 \frac{q^2}{s},$$

ein dritter gleich dicker 143,5''' langer Platindraht gab

$$h = 0{,}79 \frac{q^2}{s}.$$

Der Factor von $\frac{q^2}{s}$ hat, wie wir oben (S. 122) gesehen haben, die Form

$$\frac{a}{1 + b\lambda},$$

um die Constanten a und b zu bestimmen, sind zwei Beobachtungsreihen nöthig, d. h. man muß zwei numerische Werthe dieses Factors kennen, welche zwei verschiedenen Längen von λ entsprechen.

Wir haben einmal

$$\frac{a}{1 + b\,34{,}67} = 1{,}37,$$

dann

$$\frac{a}{1 + b\,.\,87{,}62} = 1{,}01,$$

aus der Combination dieser beiden Gleichungen folgt

$$a = 1{,}787, \qquad b = 0{,}00878.$$

Combinirt man auf dieselbe Weise die erste und dritte Beobachtungsreihe, so kommt

$$a = 1{,}788, \qquad b = 0{,}008807,$$

die Combination der zweiten und dritten Beobachtungsreihe giebt

$$a = 1{,}792, \qquad b = 0{,}008843.$$

Das Mittel aus diesen drei Bestimmungen ist

$$a = 1{,}789, \qquad b = 0{,}008810.$$

Um die Verzögerungskraft des Kupfers zu bestimmen, wurde nun ein Kupferdraht in dem Henley'schen Auslader eingezogen. Seine Länge war 141,6'''; sein Radius 0,041952'''. Nehmen wir die Dicke des vorher untersuchten Platindrahtes zur Einheit, so ergiebt sich für den Kupferdraht der Werth des Halbmessers

$$\rho = 1{,}0236.$$

Aus einer mit diesem Kupferdraht angestellten Versuchsreihe ergab sich

$$h = 1{,}51\,\frac{q^2}{s}.$$

Nach dem obigen ist aber der Factor

$$1{,}51 = \frac{a}{1 + \frac{b'\,\lambda}{\rho^2}}$$

wo a gleich dem eben gefundenen Werth 1,798, $\lambda = 141{,}6$ und $\rho = 1{,}0236$ zu setzen ist. Es ergiebt sich alsdann für b' der Werth

$$b' = 0{,}001367.$$

Dividirt man diesen Werth von b' durch den für Platin gefundenen Werth von b, so kommt

$$\frac{b'}{b} = 0{,}1552,$$

d. h. die Verzögerungskraft des Kupfers ist 0,155mal so groß wie die des Platins, oder, wenn man die Verzögerungskraft des Platins zur Einheit nimmt, so ist die des Kupfers gleich 0,1552.

Auf ähnliche Weise bestimmte Rieß auch die Verzögerungskraft anderer Metalle und fand für:

	Verzögerungskraft.	Umgekehrte Werthe der Verzögerungskraft, Kupfer = 100 gesetzt.
Silber	0,1043	148,74
Kupfer	0,1552	100
Gold	0,1746	88,87
Cadmium	0,4047	38,35
Messing	0,5602	27,70
Palladium	0,8535	18,18
Eisen	0,8789	17,66
Platin	1,	15,52
Zinn	1,053	14,70
Nickel	1,180	13,15
Blei	1,503	10,32
Neusilber	1,752	8,86.

Die erste Zahlenreihe giebt das Verhältniß an, in welchem Dråhte von denselben Dimensionen, aber verschiedenen Stoffes die Entladung der elektrischen Batterie verzögern. Die umgekehrten Werthe der Verzögerungskräfte, welche in der zweiten Zahlenreihe stehen, entsprechen dem, was die Physiker **Leitungsfähigkeit** zu nennen pflegen.

49 **Erwärmungsvermögen der Metalle.** Als in dem Thermometer sich ein Platindraht von 59,25''' Länge und 0,04098''' Radius, in dem Auslader aber ein Kupferdraht von 0,041952''' Halbmesser und 141,6''' Länge befand, gab eine Beobachtungsreihe

$$h = 1{,}51\,\frac{q^2}{s}.$$

Bei diesen Versuchen wurde ein Thermometer angewandt, dessen Kugel 22668 Kubik-Linien enthielt, was 188404 Scalentheile ausmachte. Eine Depression von 1''' entsprach also, wie sich aus den Seite 116 angeführten Betrachtungen ergiebt, einer Temperaturerhöhung der Luft von 0,00802°. Die Temperaturerhöhung des Drahtes ergiebt sich aus der Formel

$$T = 0{,}00802\,h\left(1 + \frac{m\,c}{MC}\right)$$

auf die Seite 117 angegebene Weise. Führt man die Rechnungen aus, so ergiebt sich als Temperaturerhöhung des Platindrahtes für $\frac{q^2}{s} = 1$

0,4635°.

Wurden nun die Drähte vertauscht, so daß der Kupferdraht in dem Thermometer, der Platindraht aber im Auslader war, so kam

$$h = 0{,}46\,\frac{q^2}{s},$$

woraus sich für $\frac{q^2}{s} = 1$ als Temperaturerhöhung des Kupferdrahtes

$$0{,}04678^0$$

ergiebt. Derselbe Entladungsschlag bringt also in den beiden Drähten sehr ungleiche Erwärmungen hervor. Freilich waren auch die Halbmesser nicht ganz gleich, der des Platindrahtes war 0,04098‴, der des Kupferdrahtes 0,04195‴, wie oben (Seite 106) gezeigt wurde; verhalten sich aber die Temperaturerhöhungen der Drähte caeteris paribus wie die 4ten Potenzen der Halbmesser, demnach würde ein Platindraht von den Dimensionen des Kupferdrahtes eine Temperaturerhöhung von

$$0{,}4635 \frac{0{,}04098^4}{0{,}04195^4} = 0{,}4230^o$$

erhalten.

Bei gleichen Dimensionen bringt also derselbe Entladungsschlag in einem Platin- und einem Kupferdrahte Temperaturerhöhungen hervor, welche sich verhalten wie 0,4230 zu 0,04678, derselbe Entladungsschlag bringt also in einem Kupferdrahte eine

$$\frac{0{,}04678}{0{,}4230} = 0{,}1106$$

mal so große Temperaturerhöhung hervor, als in einem gleich dicken Platindraht, das Kupfer hat eine 0,1106mal so große Erwärmungsfähigkeit als das Platin.

Rieß hat nach seinen Formeln 0,1133 statt 0,1106 gefunden. Die Differenz ist so unbedeutend, daß sie nicht weiter untersucht zu werden braucht.

Auf ähnliche Weise hat Rieß auch das Erwärmungsvermögen anderer Metalle bestimmt, er fand für:

	Erwärmungsvermögen.	Wärmemengen $e\ c\ g$
Silber	0,1267	0,1126
Kupfer	0,1133	0,1447
Gold	0,2112	0,1847
Messing	0,3861	0,5616
Eisen	0,7080	0,9148
Platin	1	1
Zinn	1,570	0,8917
Nickel	0,8727	1,182
Blei	2,876	1,455.

Die erste dieser Zahlenreihen giebt die Erwärmungsfähigkeit der Metalle, d. h. das Verhältniß der Temperaturerhöhungen, an welche verschiedenartige Drähte derselben Dicke erfahren würden, wenn sie, Ende an

Ende hinter einander befestigt, zugleich eine elektrische Batterie entladen.

Wenn man die Erwärmungsfähigkeit der Metalle mit ihrem specifischen Gewichte und ihrer specifischen Wärme multiplicirt, so erhält man Zahlen, welche angeben, wie sich die Wärmemengen verhalten, welche durch denselben Entladungsschlag in gleich dicken Drähten frei werden.

Nehmen wir auch hier wieder das Platin zur Einheit, so müssen wir alle gefundenen Producte noch durch das specifische Gewicht und die specifische Wärme des Platins dividiren. Auf diese Weise sind die Zahlen der zweiten Zahlenreihe erhalten worden, welche mit Wärmemengen überschrieben ist.

Diese Zahlenreihe giebt also an, in welchem Verhältniß die Wärmemengen stehen, welche in verschiedenartigen Drähten von gleichem Halbmesser frei werden würden, wenn sie, Ende an Ende befestigt, eine elektrische Batterie entladen.

Vergleicht man diese Zahlen mit den auf Seite 130 angegebenen Verzögerungskräften, so sieht man, daß sie fast ganz gleich sind (die Differenzen sind gering genug, um durch die schon an und für sich schwankenden Werthe der Wärmecapacität und des specifischen Gewichts in Verbindung mit dem Beobachtungsfehler erklärt zu werden); die verzögernde Kraft der verschiedenen Metalle verhält sich also wie die durch den elektrischen Entladungsschlag *caeteris paribus* in den Drähten frei werdenden Wärmemenge.

Daraus folgt ferner, daß man das relative elektrische Erwärmungsvermögen eines Metalles findet, wenn man die elektrische Verzögerungskraft desselben durch seine Wärmecapacität und sein specifisches Gewicht dividirt (und dann noch mit dem specifischen Gewichte und der Wärmecapacität des Platins multiplicirt, wenn das Erwärmungsvermögen des Platins = 1 seyn soll).

50 **Wärmemenge, welche durch den Entladungsschlag überhaupt erzeugt wird.** Vorsselmann de Heer benutzt die eben mitgetheilten Erfahrungen, um daraus auf die ganze Wärmemenge zu schließen, welche ein elektrischer Entladungsschlag erzeugt (P. A. 48. 292), nachdem er mit den Rieß'schen Formeln eine Umwandlung vorgenommen hat, die im Wesentlichen mit der auf S. 121 gegebenen Transformation ganz übereinstimmt.

Es ergiebt sich auf diese Weise, welches die Länge L eines Platindrathes von einer bestimmten Dicke seyn müßte, wenn er dem Entladungsschlag denselben Widerstand entgegensetzen, oder mit anderen Worten, die Entladung gerade eben so verzögern sollte, wie es durch die unveränderlichen Theile des Schließungsbogens geschieht.

Da die Wärmemenge, welche in einem Drahtstücke frei wird, seiner Ver-

zögerungskraft proportional ist, und da man ferner an einer Stelle des Schließungsbogens die Erwärmung eines bestimmten Drahtstückes mit Hülfe des elektrischen Luftthermometers bestimmen kann, so kann man berechnen, wie groß die Wärmemenge ist, welche in dem ganzen Schließungsbogen frei werden würde, wenn derselbe durch einen einzigen Draht von der Länge $L + \lambda$ und einer gewissen Dicke gebildet würde. Vorsselmann de Heer nimmt nun an, daß in dem ganzen Schließungsbogen wirklich eine der berechneten ganz gleiche Wärmemenge frei wird, weil der Schließungsbogen dieselbe Verzögerungskraft hat wie die berechnete Drahtlänge und der frei werdenden Wärme, ja der Verzögerung proportional ist.

Gegen diesen Schluß aber protestirt Rieß (P. A. 48. 320), indem er mit Recht einwendet, daß der wesentlichste Theil der Verzögerung im Schließungsbogen nicht sowohl von den continuirlichen metallischen Theilen des Schließungsbogens als vielmehr von den Verbindungsstellen herrührt, und daß uns die Versuche über das Verhältniß zwischen Verzögerungskraft und Wärmeentwicklung nur für continuirliche Drähte, aber nicht für discontinuirliche Metallstücke Auskunft geben, daß wir über das Verhältniß zwischen der Verzögerungskraft und Erwärmung an den Verbindungsstellen noch gar nichts wissen.

Glühen und Schmelzen der Metalldrähte durch elektrische Entladungen. 51 Während schwächere Entladungsströme in dünnen Metalldrähten eine Erwärmung hervorbringen, deren Gesetze Rieß gründlich studirt hat, und mit denen wir uns bisher beschäftigt haben, bringen stärkere Entladungen die Drähte zum Glühen, ja zum Schmelzen.

Es ist nun die Frage, ob diese Wirkungen, nämlich Glühen und Schmelzen der Drähte sich durch eine Steigerung der elektrischen Erwärmung nach den für niedrigere Temperaturen ermittelten Gesetzen erklären lassen oder nicht.

Rieß hat das Glühen und Schmelzen von Metalldrähten durch Elektricität genauer untersucht (P. A. 65. 481) und gezeigt, daß dies nicht der Fall ist.

Als in dem Schließungsbogen der Batterie ein dünner Platindraht von 15 Linien Länge, und ein dickerer im Luftthermometer eingeschlossener Platindraht eingeschaltet war, ergab sich aus den bei schwächeren Entladungen am Luftthermometer gemachten Beobachtungen nach den obigen Gesetzen für die Einheit der Ladung eine Temperaturerhöhung von $0{,}68^0$ des dünnen Drahtes.

Durch Entladung der Elektricitätsmenge 42 in 5 Flaschen wurde der Draht vollständig geschmolzen; berechnet man aber für diese Ladung die Temperaturerhöhung des dünnen Drahtes nach den bekannten Gesetzen, so findet man $0{,}68 \frac{42^2}{5} = 245^0$.

Diese Temperatur reicht nicht zum Glühen, geschweige denn zum Schmelzen des Platins hin, und somit ist auch klar, daß die Temperatur von 245°, welche nach den für schwächere Ladungen abgeleiteten Gesetzen berechnet wurde, nicht die sey, welche das durch Elektricität geschmolzene Platin wirklich besaß.

Es geht daraus hervor, daß eine starke Entladung in einer anderen Weise auf den Draht wirken müsse als schwächere, was auch daraus hervorgeht, daß eine starke Entladung am Drahte mechanische Wirkungen ausübt, welche den schwächeren Entladungen ganz fremd sind.

Rieß hat mit großer Sorgfalt die Wirkung allmälig verstärkter Entladungsschläge untersucht. Um sehr starke Effecte hervorbringen zu können, wandte er eine Batterie von 7 Flaschen mit 2,6 füßiger Belegung an (soll wohl heißen, daß jede Belegung 2,6 Quadratfuß betrug).

Lange zuvor, ehe die zum Glühen nöthige Elektricitätsmenge erreicht ist, zeigen sich am Draht Erscheinungen, welche ein gewaltsames Eindringen der Elektricität bekunden; der Draht wird sichtbar erschüttert, es treten kleine Funken an seinen Enden auf, es werden von seiner Oberfläche Theilchen losgerissen, die sich in Gestalt eines dichten Dampfes von ihm erheben. Oft geschieht gleichzeitig mit dem Auftreten der Funken das Losreißen größerer Metalltheile, die fortgeschleudert und erglühend dem Funken ein sprühendes Ansehen geben. Noch mehr gesteigerte Ladungen bringen Einbiegungen im Draht hervor, die gerade so aussehen, als ob sie mit einem kantigen Instrument gemacht worden wären. Wir wollen hier nur eine der Versuchsreihen anführen, welche diese Erscheinungsreihe darthaten. Ein Platindraht von 0,0261 Linien Radius und 16 Linien Länge gab folgende Erscheinungen.

Flaschenzahl.	Elektricitätsmenge.	
4	6	Funken an der inneren Seite des Drahtes (die der inneren Belegung zunächst liegt).
	8	Dampfstreifen am ganzen Drahte.
	9	Dampffunken an der äußeren Seite.
	10	Dasselbe.
	11	Weder Funken noch Dampf; starke Einbiegung.
	12	Funken an der äußeren Seite, Einbiegung verstärkt.
	13	Der Draht glüht.

Alle diese Erscheinungen, welche dem Glühen vorangehen, zeigen sich leichter, wenn der Draht nicht angespannt ist.

Schon frühere Beobachter hatten eine Verkürzung der durch elektrische Entladungen zum Glühen gebrachten Drähte beobachtet; diese Verkürzung erklärt sich nun durch die erwähnten Einbiegungen.

Die erwähnten Funken am Ende des Drahtes hängen vom Material des Drahtes und dem der Klammer ab. Die Sprühfunken zeigen sich beim Eisen in größter Ausdehnung, beim Kupfer sind gar keine Funken bemerkt worden.

Viel constanter als das Auftreten der Funken ist die Bildung der Dampfwolken, welche bei keinem Metall gefehlt hat. Die Leichtigkeit, mit welcher der Dampf gebildet wird, variirt bei verschiedenen Metallen nicht mehr als bei verschiedenen Drähten desselben Metalls. Die Dampfbildung wird durch eine größere Anzahl von Furchen, welche das Zieheisen auf den Draht zurückgelassen hat, befördert. Nach sorgfältigem Poliren der Drähte fand Rieß die Dampfbildung geringer als sonst.

Gesetze des elektrischen Glühens. 1) Glühen nach der Stärke der Ladung. In den Schließungsbogen wurde ein dünner Platindraht von 0,116 L. Durchmesser und 26,6 L. Länge, und außerdem noch ein elektrisches Thermometer mit so dickem Platindraht eingeschaltet, daß er selbst bei den stärksten Entladungen unversehrt blieb. Eine bestimmte Zahl von Flaschen wurde mit steigenden Elektricitätsmengen geladen, bis eine Elektricitätsmenge erreicht war, die den Draht in ein bei Tage sichtbares Glühen versetzte, jedesmal aber auch die Erwärmung des Thermometers beobachtet. So wurde mit verschiedener Flaschenzahl verfahren. Eine solche Beobachtungsreihe gab folgende Ladungen, die zum Glühen hinreichten, nebst den entsprechenden Depressionen des Thermometers. 52

Flaschenzahl.	Elektricitätsmenge.	Erwärmung des Thermometers.
5	12	20,2
4	11	21,8
3	10	21,6
2	8	20,3.

Um den dünnen Draht zum Glühen zu bringen, waren also die Elektricitätsmengen 12 in 5 Flaschen, 11 in 4, 10 in 3, 8 in 2 Flaschen nöthig. Dividirt man das Quadrat der Elektricitätsmenge durch die entsprechende Flaschenzahl, so erhält man folgende Quotienten $^{144}/_5 = 28,5$, $^{121}/_4 = 30,2$, $^{100}/_3 = 33,3$, $^{64}/_2 = 32$.

Diese Quotienten sind sehr nahe gleich, und man kann daraus schließen, daß wenn eine Elektricitätsmenge q in s Flaschen einen Draht glühend macht, unter sonst gleichen Umständen die Elektricitätsmenge q' in s' Flasche dieselbe Wirkung hervorbringen wird, wenn $\frac{q^2}{s} = \frac{q'^2}{s'}$. In obigen Versuchen ist jener Quotient im Mittel gleich 31, wonach für

	2	3	4	5	6	7 Flaschen
die Elektricitätsmengen	7,9	9,6	11	12,4	13,6	14,7

als diejenigen gefunden werden, welche den erwähnten Draht glühend machen.

Wir haben schon oben gesehen, daß die Erwärmung, welche ein Entladungsstrom im elektrischen Thermometer hervorbringt, unter sonst gleichen Umständen dieselbe bleibt, so lange der Quotient $\frac{q^2}{s}$ oder was dasselbe ist, das Product der elektrischen Quantität q multiplicirt mit der Dichtigkeit $\frac{q}{s}$ sich nicht ändert. Da nun aber auch zum Glühen des dünnen Drahtes stets derselbe Werth von $\frac{q^2}{s}$ nöthig ist, so läßt sich erwarten, daß die Entladungen, welche das Glühen des dünnen Drahtes bewirken, im elektrischen Thermometer auch gleiche Erwärmung hervorbringen, was bei der zuletzt angeführten Versuchsreihe in der That sehr nahe der Fall ist.

Wir wollen der Kürze halber den Strom durch seine erwärmende Kraft messen, und überall unter Stärke des Entladungsstroms die Größe der Erwärmung verstehen, welche derselbe in einem constanten im Schließungsbogen befindlichen Drahte hervorbringt. Die Stärke des Entladungsstroms ist also stets dieselbe, so lange caeteris paribus auch der Werth von $\frac{q^2}{s}$ unverändert bleibt.

2) Glühen des Drahtes nach seiner Länge. Wenn ein Entladungsstrom hinreicht, um einen dünnen Draht glühend zu machen, so wird eine Verlängerung des Drahtes den Strom in der Weise verzögern, daß sie nun nicht mehr im Stande ist, den Draht in's Glühen zu bringen. Wenn außer dem dünnen Draht auch noch ein elektrisches Thermometer in den Schließungsbogen eingeschaltet ist, so wird eine Verlängerung des dünnen Drahtes durch die Verzögerung der Entladung auch eine geringere Erwärmung des Thermometers zur Folge haben.

Da die Stärke des Entladungsstromes durch die Erwärmung des elektrischen Thermometers gemessen wird, so kann man auch also sagen, daß durch die Verlängerung des dünnen Drahtes die Stärke des Entladungsstromes vermindert wird.

Wenn also eine gewisse Ladung der Batterie eben hinreicht, einen dünnen Draht in's Glühen zu bringen, so wird bei Verlängerung des Drahtes dieselbe Ladung eine geringere Stärke des Entladungsstromes geben und zum Glühen des Drahtes nicht mehr hinreichen. Um den längeren Draht glühend zu machen, muß die Ladung verstärkt werden und zwar, wie aus den Versuchen von Rieß hervorgeht, gerade um so viel, daß die Stärke des Entladungsstromes wieder die vorige Größe erreicht.

Ein 15,7 Linien langer Platindraht kam in's Glühen bei 4 Flaschen, einer E Menge 12, die Erwärmung des Thermometers war 8. Ein gleich dicker 77,5 Linien langer Draht kam in's Glühen bei 4 Flaschen, einer E Menge 22, die Erwärmung des Thermometers war ebenfalls 8. Gleich dicke und aber verschieden lange Drähte erfordern also zum Glühen eine gleiche Stärke des Entladungsstromes.

3) Glühen von Drähten nach der Dicke derselben. Wenn eine bestimmte Stärke des Entladungsstromes einen Draht in's Glühen bringt, so wird bei gleichem Werth von q und s ein dickerer, gleich langer Draht nicht mehr in's Glühen kommen, während die Stärke des Entladungsstromes wegen der verminderten Verzögerung zunimmt.

Um den dickeren Draht in's Glühen zu bringen, muß q vergrößert werden, wodurch auch die Stärke des Entladungsstromes vermehrt wird.

Um gleich lange Drähte, deren Radien 0,018; — 0,021; — 0,026 Linien betrugen, waren Entladungsströme nöthig, deren Stärke am gleichzeitig eingeschalteten elektrischen Thermometer gemessen 9, 20, 43 war.

Die vierten Potenzen der drei Radien verhalten sich wie 10 : 19 : 45, und diese Zahlen stehen sehr nahe in demselben Verhältniß wie 9 : 20 : 43.

Die Stärke des Entladungsstromes einer Batterie, die zum Glühen eines Drahtes nöthig wird, ist also dem Biquadrate des Drahthalbmessers proportional.

4) Glühen von Drähten verschiedener Metalle. Aus den Versuchen, die Rieß über das Glühen von Drähten verschiedener Metalle angestellt hat, folgt, daß, wenn man mit 1 die Stärke des Entladungsstromes bezeichnet, welche zum Glühen eines Platindrahtes erforderlich ist, daß alsdann bei gleichen Dimensionen ein Draht von

Eisen	bei einer Stromstärke	0,816
Neusilber	» » »	0,950
Platin	» » »	1,00
Palladium	» » »	1,07
Messing	» » »	2,59
Silber	» » »	4,98
Kupfer	» » »	5,95

glüht.

Erscheinungen, welche dem Glühen folgen. Wenn die Stärke des Entladungsstromes noch mehr gesteigert wird, als zum ersten Glühen nothwendig ist, so treten mit wachsender Stärke der Reihe nach folgende Erscheinungen auf. Der Draht wird weiß glühend; er reißt von seinen Befestigungen ab, er zersplittert, er schmilzt, er zerstäubt. 53

1) Das Zerreißen. Ein Platindraht von 0,026 Linien Radius und 16 Linien Länge gab folgende Erscheinungen:

Flaschen-zahl.	*E* Menge.	
4	12	der Draht glüht,
	14	derselbe heftig glühend,
	15	weißglühend,
	16	in drei hackige Stücke zerrissen.

Nach Cavallo soll die Gluth am Drahte vom positiven Drahtende gegen den negativen fortschreiten. Rieß bemerkte bis auf einen Fall ein entgegengesetztes Fortschreiten des Glühens.

Nach von Marum soll, wenn der Draht zum Theil zerstört wird, stets der der positiven Belegung zunächst liegende Theil zerstört werden; Rieß dagegen fand die Drähte bald an dem positiven, bald an dem negativen Ende abgerissen.

Ein Draht, der schon einige Stufen des Glühens durchgemacht hat, wird leichter zerrissen als ein neuer.

2) Das Zersplittern. Setzt man Drähte einer stärkeren Entladung aus, als zu ihrer Zerreißung nöthig ist, so zersplittern sie unter Lichterscheinung in einer größeren oder geringeren Menge kleiner Stücke, die bis in einige Entfernung zerstreut werden. An den aufgesammelten Stücken läßt sich erkennen, daß die Zerstückelung des Drahtes von einer Zerschlitzung und Zersplitterung herrührt, und daß eine Schmelzung, wo sie auftritt, nur secundär erscheint.

Ein 16 Linien langer, 0,079 Linien dicker Platindraht wurde mit einer $7\frac{1}{2}$ Linie weiten Glasröhre umgeben, im Schließungsbogen befestigt. Die Entladung der in 7 Flaschen angehäuften Elektricitätsmenge 22 brachte ihn in's Glühen, die Elektricitätsmenge 35 zerriß ihn in Stücke, welche im Rohre gefunden wurden. Die Stücke hatten an der Oberfläche deutliche Zeichen von Schmelzung, und vier der größten erschienen zu einer verschlungenen Figur zusammengelöthet, was darauf deutete, da sie heiß gegen einander und gegen die Wandung der Röhre geschleudert worden waren. Die Enden aller Stücke waren nicht geschmolzen, die meisten erschienen scharf zugespitzt. Ein ziemlich gerades Stück wurde unter dem Mikroscop gemessen; es hatte in der Mitte 0,081 Linien, an dem einen Ende 0,022 Linien Durchmesser, der Draht war also der Länge nach zerrissen worden. Aehnliches zeigten andere Stücke.

Mehrere andere Versuche gaben ähnliche Resultate. Bei behutsamer Steigerung der Ladung läßt sich die Zersplitterung ohne eine Spur von Schmelzung hervorbringen.

3) Die Schmelzung. Durch fortwährend gesteigerte Entladungen zersplittern die Drähte in immer kleinere Stücken; diese schmelzen an der Oberfläche und an den Enden, und fließen zuletzt in Kugeln zusammen.

Ueberall werden die Dräthe hart an ihren Befestigungen abgerissen, die Stücke weit fortgeschleudert. Alle folgenden Versuche wurden unter einer Glasglocke angestellt, die zerstreuten Drahtstücke auf einem untergelegten Papierblatte gesammelt.

Ein Platindraht, 0,0258''' Rad., 19''' lang, wurde bei $s = 5$ und $q = 11$ glühend; bei $q = 20$ zersplittert und geschmolzen. Viele $1/2$ Linie lange Stücke hatten Kugeln an den Enden; einzelne Splitter waren eingeschmolzen. Ein gleicher Platindraht wurde bei $q = 22$ in viele kleine ganz runde Kugeln geschmolzen.

Ein Silberdraht, 0,0264''' Rad.; 20''' lang, zersplitterte und schmolz bei $s = 6$, $q = 26$; es wurden einzelne Kugeln und angeschmolzene Splitter gesammelt.

Ein Zinndraht; Rad. 0,037, Länge 15'''. Bei $s = 5$, $q = 20$ tröpfelten Kugeln vom Drahte herunter, welche unter der bekannten Feuererscheinung herumhüpfend oxydirt wurden.

Ein Kupferdraht (Rad. 0,0253, Länge 16 Linien), bei $s = 6$, $q = 25$ glühend, bei $q = 25$ in einen Haufen sehr kleiner Kugeln verwandelt. Es gelang nicht, größere Kugeln von Kupfer zu erhalten.

Hier ist die zur vollkommenen Schmelzung nöthige Ladung nicht viel größer als die, welche das erste Glühen erzeugt. Es kommt dies daher, daß bei den oxydirbaren Metallen die Temperatur noch durch Aufnahme von Sauerstoff aus der Luft gesteigert wird, daß also zu den elektrischen Effecten noch ein chemischer hinzutritt. Am auffallendsten ist dies beim Eisen, welches oft bei Entladungen schmilzt, die direct nur ein mäßiges Glühen erzeugt haben würden.

Ein Eisendraht, 0,0266''' Rad.; 17''' lang, kam bei $s = 3$, $q = 13$ in starkes Glühen, welches aber nicht wie sonst augenblicklich aufhörte. Die Gluth steigerte sich bis zum Weißglühen; es tröpfelten einige Kugeln vom Draht ab und hüpften unter lebhaftem Funkensprühen auf der Unterlage umher.

Der Rückstand, welcher nach dem Schmelzen eines Drahtes in der Flasche bleibt, ist sehr bedeutend, er betrug bei einem Versuch von Rieß fast 23 Procent der ganzen Ladung.

4) Die Zerstäubung. Die erste direct sichtbare Wirkung der elektrischen Entladung auf einen neuen Draht besteht, wie oben bemerkt wurde, in der Bildung einer Dampfwolke, die sich von dem Drahte erhebt. Es ist wahrscheinlich, daß dieser Dampf aus Metalltheilchen besteht, welche von der Oberfläche des Drahtes losgerissen werden, und deren Menge daher von der Beschaffenheit der Oberfläche abhängt. Durch Steigerung der Ladung über den Punkt hinaus, bei welchem sie den Draht vollständig schmelzen würde, ist es möglich, die ganze Drahtmasse in solchen Dampf zu

verwandeln. Diese Verwandlung geschieht unter glänzender Lichtentwicklung und mit einem starken Knall.

Ein Platindraht (rad. 0,0309 L., Länge 15 L.) wurde bis $s = 5$ und $q = 13$ glühend, und schmolz bei $q = 17$ zu Kugeln. Ein gleicher Platindraht wurde bei $q = 22$ mit glänzendem Lichte zerstäubt, und in der Röhre, welche ihn umgab, zeigte sich ein grauer abwaschbarer Anflug. Derselbe Versuch wurde in freier Luft wiederholt, und einige Linien über den Draht ein Glimmerblatt gehalten, welches bei der Zerstäubung des Drahtes mit grauen und schwärzlichen Flocken überzogen wurde, die unter einem Mikroscop bei 280facher Vergrößerung aus Metallbrocken verschiedener Größe und Gestalt zusammengesetzt erschienen.

Die Metalle werden um so leichter zerstäubt, je spröder sie sind.

54 **Mechanismus des Schmelzens.** Ueberall, wo eine elektrische Schmelzung eintritt, ist eine mechanische Trennung der geschmolzenen Masse vorhergegangen, und die Schmelzung kann daher nur die Wirkung der Hitze auf fein vertheiltes Metall seyn. Den Unterschied, zwischen Schmelzung durch Feuer und Schmelzung durch Elektricität, charakterisirt Rieß auf folgende Weise:

Wenn Feuer auf ein Metall wirkt, so erhitzt es dasselbe fortwährend als ganze zusammenhängende Masse bis zum Schmelzen, die Elektricität hingegen erhitzt das Metall (als zusammenhängende Masse) nur bis zu Temperaturen unter dem Schmelzpunkt, und schmilzt durch gleichzeitige Zersplitterung und Erhitzung.

Franklin stellte im Jahre 1747 die Ansicht auf, welche er jedoch später zurücknahm, daß der Blitz die Cohäsion eines Metalles ohne Hülfe der Wärme löse, und eine kalte Schmelzung desselben zu Wege bringe. Diese Ansicht wurde von Berthollet wieder aufgenommen, der jede elektrische Einwirkung auf eine Substanz durch Auseinandertreibung der Partikel derselben erklärte, und die bei der Schmelzung auftretende Wärme nur als ein secundäres Phänomen auffaßte.

In dieser Ansicht liegt allerdings, nach den oben mitgetheilten Erfahrungen, etwas Wahres, allein sie läßt die Wärme ganz unberücksichtigt, welche ja schon vor der mechanischen Wirkung auftritt; dagegen ist die später allgemein gewordene Ansicht, als ob die elektrische Schmelzung lediglich ein Resultat der Erwärmung sey, eben so einseitig, indem sie den mechanischen Effect vernachlässigt.

55 **Veränderungen im Verzögerungswerthe der Metalle bei steigenden mechanischen Wirkungen.** Wir haben oben Seite 104 gesehen, daß zwischen der Erwärmung h eines Drahtes, der Elektricitätsmenge q und der Flaschenzahl s die Relation

$$h = n \frac{q^2}{s}$$

besteht, wo n ein Factor ist, der für eine ganze Beobachtungsreihe merklich constant blieb. Dies findet nicht mehr Statt, wenn sich in dem Schließungsbogen ein Draht befindet, der durch die angewandten Entladungen mechanisch afficirt und ins Glühen versetzt wird, wie aus folgender Versuchsreihe ersichtlich ist. Als außer dem Thermometer ein 17 L. langer Platindraht, rad. 0,0209 eingeschaltet war, ergab sich

s	q	h	n	
4	5	7,6	1,22	
	7	14,0	1,15	
	9	20,0	0,99	Einbiegung,
	11	27,2	0,90	Draht glühend,
	13	33,3	0,80	weißglühend,
	15	41,3	0,95	schmilzt zu Kugeln,

Der Verzögerungswerth nimmt also zu, wenn durch steigernde Ladungen mechanische Effecte und Glühen hervorgebracht werden, er nimmt aber beim Schmelzen wieder zu.

Rieß ist nun der Ansicht, daß die anfänglichen Wärmeerscheinungen durch eine continuirliche Fortpflanzung im Drahte, d. h. durch eine solche hervorgebracht werden, bei welcher die Elektricität mit gleichförmiger Geschwindigkeit den Draht durchläuft, während bei mechanischen Wirkungen, beim Glühen u. s. w. zum Theil wenigstens eine stoßweise Fortpflanzung stattfinden soll. Ist die Elektricitätsmenge zu groß, um continuirlich geleitet zu werden, so wird sie sich an einzelnen Stellen, an denen durch irgend eine Ursache ihrem Fortschreiten ein größeres Hinderniß entgegensteht, sich anhäufen, bis sie im Stande ist, den Widerstand gleichsam zu durchbrechen. Daher die Zunahme des Verzögerungswerthes. Die Stellen der Intermittenz der Entladung scheinen durch die Verbiegungen angedeutet zu seyn. Beim Schmelzen wird der Verzögerungswerth wieder kleiner, weil hier zum Theil wenigstens nur Ueberspringen der Entladung stattfindet.

Eine verschiedenartige Fortpflanzung der Elektricität findet auch bei nichtmetallischen Substanzen Statt. Bei der Entladung vermittelst eines die Luft durchbrechenden Funkens, durch Lichtbüschel u. s. w., findet eine discontinuirliche Fortpflanzung der Elektricität durch die Luft Statt, während der von Coulomb nach seinen Gesetzen erkannte allmälige Uebergang der Elektricität in Luft als die continuirliche Entladung eines elektrischen Körpers durch die Luftmasse anzusehen ist. Durch eine Röhre mit Wasser kann eine Batterie geräuschlos vollständig entladen werden (continuirliche Entladung); bei Verstärkung der Ladung erscheint aber ein

Funken in der Röhre, welche gewaltsam zertrümmert wird (discontinuirliche, explosive Entladung).

Daß sich der Entladungsschlag im Wasser auf verschiedene Weise fortpflanzt, zeigt sich am auffallendsten, wenn man außer der Wasserröhre noch ein elektrisches Thermometer in den Schließungsbogen der Batterie einschaltete. Bei 4 Flaschen gab

die Elektricitätsmenge.	Erwärmung am Thermometer.
5	0
$5\frac{1}{2}$	0
6	0
$6\frac{1}{2}$	27,5
7	35.

So lange eine continuirliche Entladung im Wasser stattfindet, verzögert es die Entladung so stark, daß das Thermometer keine Erwärmung anzeigen kann; bei einer geringen Vermehrung der Ladung tritt aber die Durchbrechung und mit ihr eine bedeutende Temperaturerhöhung im Thermometer auf.

Der Nebenstrom.

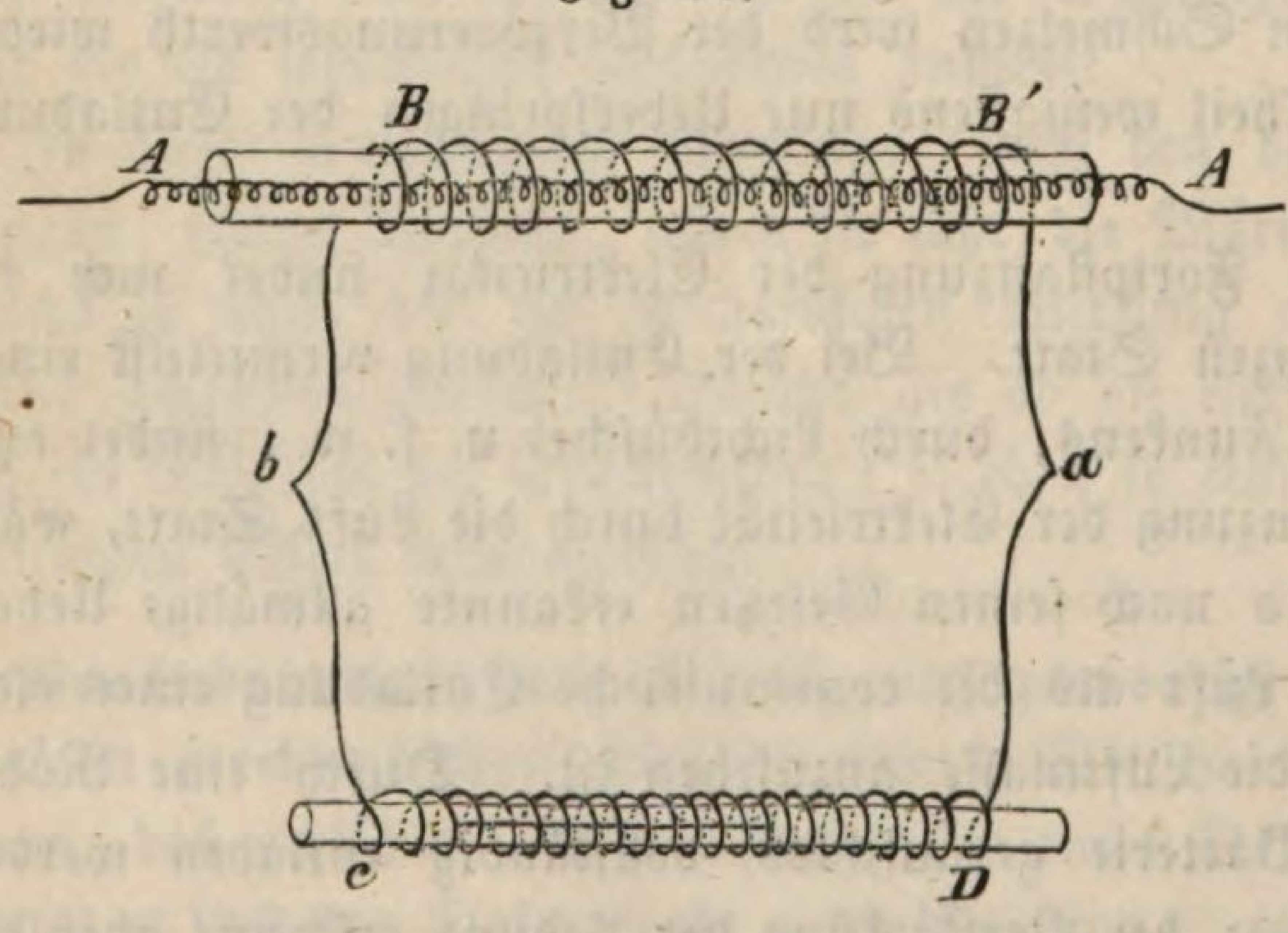
56 **Existenz des Nebenstromes.** Wenn eine elektrische Batterie durch einen längeren Metalldraht entladen wird, so kann der in dem Schließungsbogen circulirende Strom in einer nahestehenden geschlossenen Drahtleitung einen Strom induciren.

Der Draht, welcher den Schließungsbogen der Batterie bildet, soll der Hauptdraht heißen.

Der Draht, in welchem durch die Einwirkung des Stromes im Hauptdraht ein Strom inducirt wird, soll der Nebendraht genannt werden.

Die Existenz des Nebenstromes hat Rieß (P. A. 47. 55) auf folgende Weise dargethan.

Fig. 59.



In Fig. 59 sey AA ein spiralförmig auf eine Glasröhre aufgewundener Kupferdraht, welcher in den Schließungsbogen der Batterie eingeschaltet ist, AA sey also der Hauptdraht.

Ueber den Hauptdraht sey eine weitere Glasröhre geschoben und auf diese der Nebendraht

BB' aufgewunden, dessen Enden frei herabhängen. Bei *a* und *b* sind die Enden einer dritten Spirale *CD*, welche ebenfalls auf eine Glasröhre aufgewunden ist, befestigt.

Wird die Verbindung bei *b* gelöst und die Drahtenden in einige Entfernung gebracht, so sieht man bei *b* einen Funken überspringen, wenn die hinlänglich stark geladene Batterie durch den Hauptdraht entladen wird.

Dieser Funke ist ein Beweis für die Existenz des Nebenstromes; ein Ueberschlagen der Elektricität vom Hauptdraht auf den Nebendraht kann nicht stattfinden, wenn man die Nebenspirale bei den Enden der Glasröhre, auf welche sie gewickelt ist, noch hinlänglich weit frei läßt.

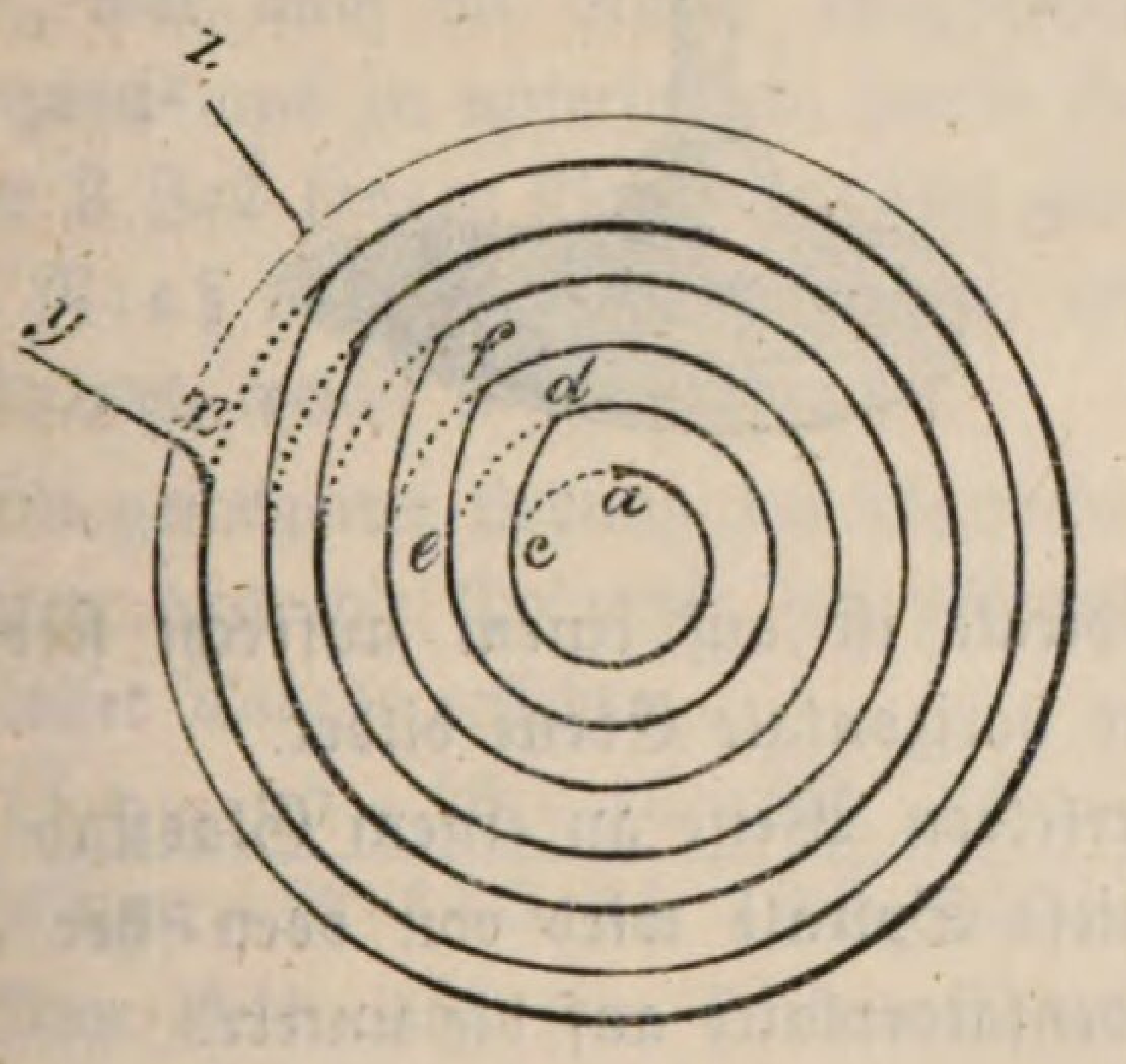
Legt man in die Glasröhre, auf welche die Spirale *CD*, welche wir die Magnetisirungsspirale nennen wollen, eine Stahlnadel (eine englische Nähnadel), so wird diese durch den Nebenstrom magnetisirt.

Ein in die Nebenschließung eingeschaltetes elektrisches Luftthermometer zeigt eine durch den Nebenstrom hervorgebrachte Erwärmung.

Fig. 59 zeigt die Form, in welcher Rieß zuerst seine Versuche über den Nebenstrom anstellte. Später gab er der Haupt- und Nebenspirale eine bequemere Form. (P. A. 50. 9.)

In einer aus drei aufgeleimten Dicken bestehenden Holzscheibe, deren Durchmesser von der Größe der zu bildenden Spirale abhängt, werden concentrische Rinnen eingeschnitten, und zu einer spiralförmigen Figur vereinigt, indem je zwei aufeinander folgende Kreise durch einen gekrümmten Einschnitt verbunden werden; der innerste Kreis ist mit dem zweiten durch die Rinne *c d*, der zweite mit dem dritten durch *e f* u. s. w. verbunden. In diese Rinnen wird nun ein ungefähr $1/2$ Linie dicker Kupferdraht so eingelegt, daß er eine Spirale bildet. Das eine

Fig. 60.



Drahtende ist bei *a* durch die Scheibe durchgesteckt, und geht auf der unteren Seite des Brettes nach *z*. Von *a* aus gehen die Drahtwindungen nach *c*, von *c* nach *d*, von *d* nach *e*, *f* u. s. w.; *xy* ist das zweite Ende des zu einer flachen Spirale aufgewundenen Drahtes.

Schon vor dem Einlegen des Drahtes wird die Scheibe mit einem dünnen Ueberzug von schwarzem Pech versehen.

Ist der Draht durch Auflegen einer heißen Metallplatte gehörig befestigt, so werden die Zwischenräume zwischen den Drahtringen mit Pech

ausgefüllt, und eine schwere erwärmte Metallplatte auf die Scheibe gelegt, wodurch die Drahtspirale ganz eben gemacht werden kann. Diese Spirale wird nun mit Kohle geschwärzt, auf eine zweite Holzscheibe abgedrückt, um die Zeichnung zu einer zweiten Spirale zu erhalten, die der ersten möglichst entsprechen muß.

Jede der Spiralscheiben wird nun so auf einen Glasfuß befestigt, daß ihre Ebene vertikal zu stehen kommt. Auf einem und demselben Gestell werden zwei solche Scheiben einander gegenüber so aufgestellt, daß man sie nach Belieben nähern oder entfernen kann. Die Art der Aufstellung ist aus Fig. 61 ersichtlich.

Eine andere für viele Zwecke weit bequemere Aufstellung der flachen Spiralen, wie ich sie bei Prof. Eisenlohr in Karlsruhe gesehen habe,

Fig. 61.

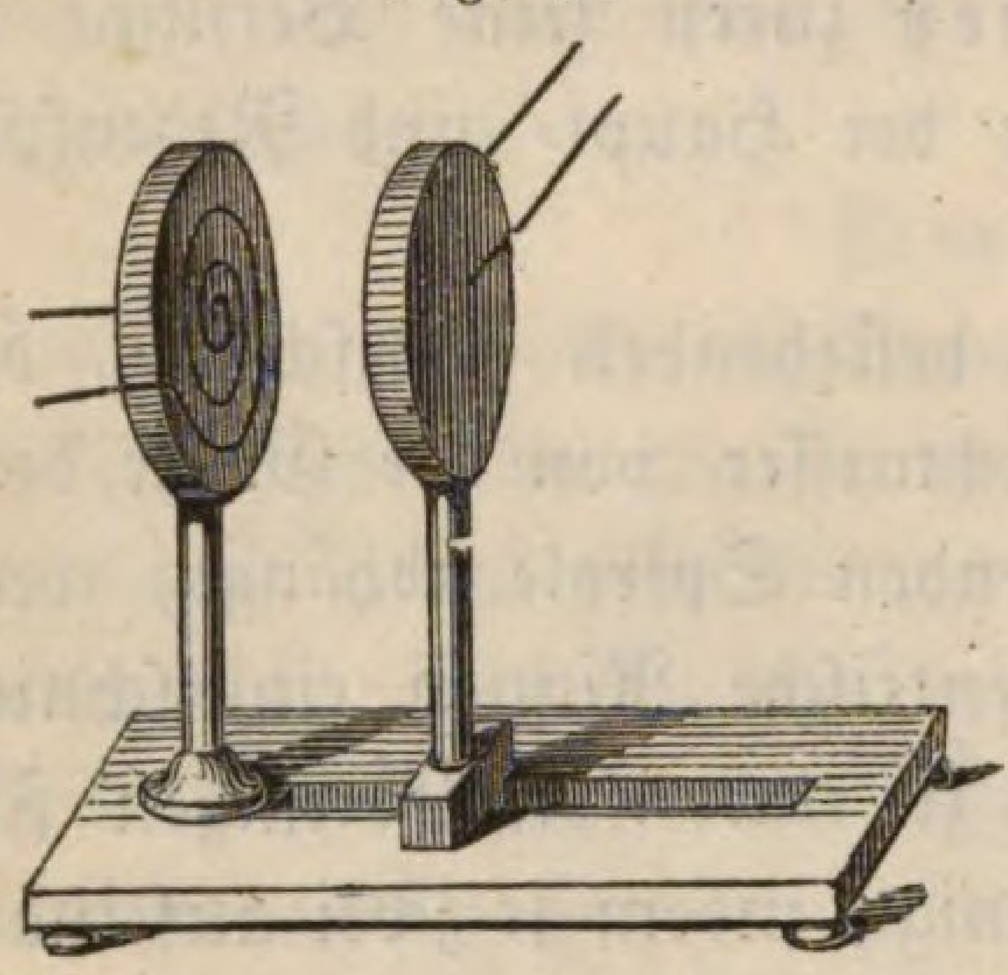
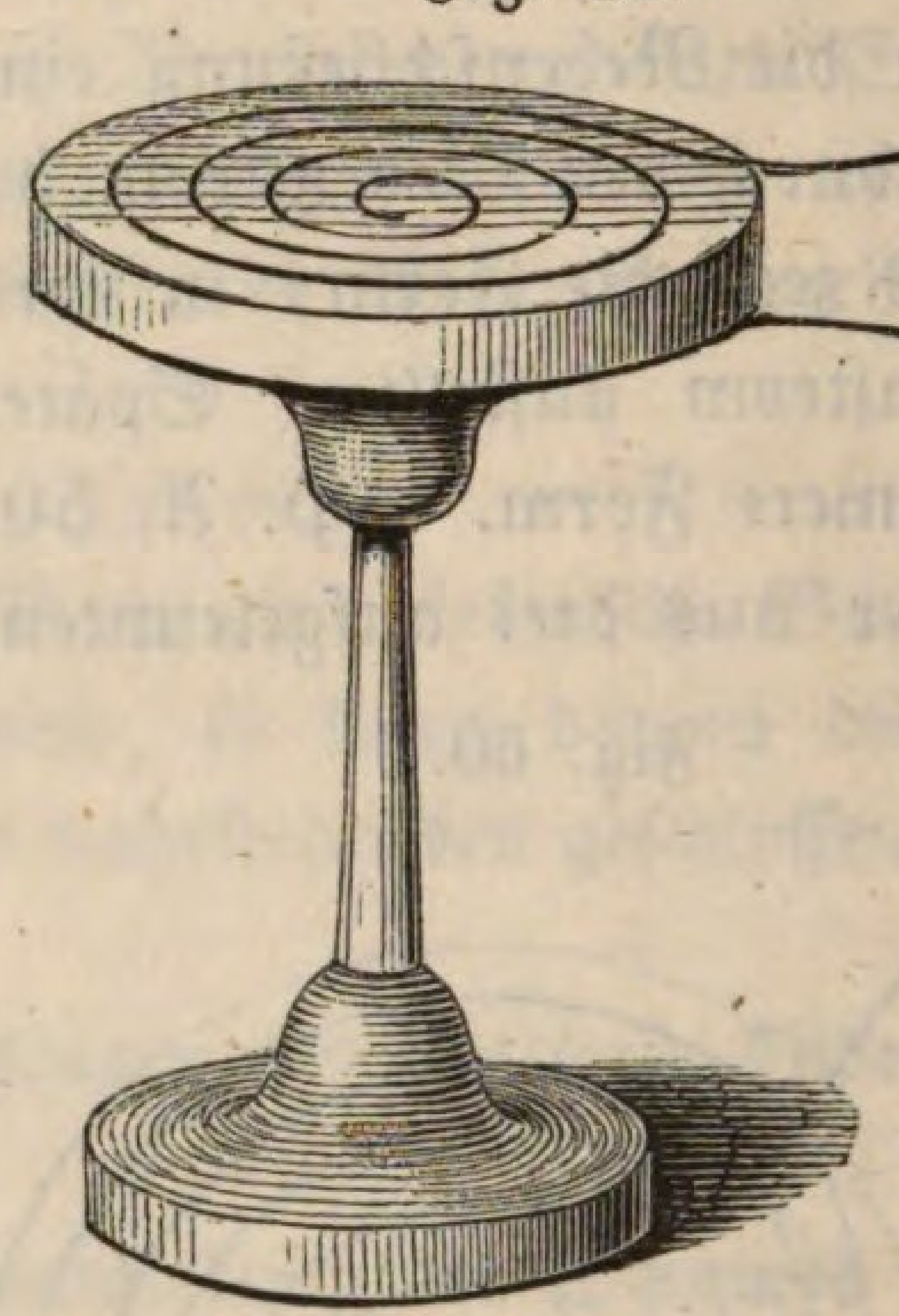


Fig. 62.



ist Fig. 62 abgebildet. Die eine Spirale ist auf einem aufrecht stehenden Glasfuße so befestigt, daß sie eine horizontale Ebene bildet.

Die zweite Spirale ist ganz in derselben Weise an einem Glasstab befestigt, der jedoch keinen Fuß hat; diese Spirale wird von oben her auf die andere gesetzt, wie die obere Condensatorplatte auf die untere.

Die Entfernung der beiden Spirale kann man dadurch ändern, daß man Glasplatten von verschiedener Dicke zwischen dieselben legt. Größere Entfernungen lassen sich durch Einschieben gefirnißter Holzstäbchen, die eine bestimmte Dicke haben, hervorbringen.

Die Enden des Spiraldrahtes sind mit Schraubenklemmen z und y versehen, vermittelst deren man die Schließung der Spirale beliebig bewerkstelligen kann.

Wenn y und z der unteren Spirale auf 1 bis 2 Linien genähert, und die beiden Spiralen durch eine Glasplatte getrennt sind, so sieht man zwischen y und z einen Funken überspringen, wenn durch die obere Spirale

eine hinlänglich geladene Flasche entladen wird. Es ist der Nebenstrom, der hier den Funken bildet.

Magnetisirung durch den Hauptstrom. Um nicht zu irrigen 57
Schlüssen über die Magnetisirung durch den Nebenstrom verleitet zu werden, muß man die Magnetisirung durch den Hauptstrom selbst erst gehörig untersuchen.

Eine solche Untersuchung ist zuerst von Savary gemacht worden. Rieß hat die Savary'schen Versuche wiederholt und bestätigt gefunden. Folgendes sind die Resultate der von Rieß über die Magnetisirung durch den Hauptstrom gemachten Versuche. (P. A. 47. 55.)

In den Schließungsbogen der Batterie, welche aus 25 Flaschen (von $1\frac{1}{2}$ Quadratfuß Belegung) bestand, wurde eine Spirale von Platindraht eingeschaltet, welche mit einer Länge von 26 Zoll in 42 Windungen auf eine 3 Zoll lange Glasröhre aufgewunden war; die beiden nicht spiralförmig gewundenen Enden dieses Platindrahtes waren zusammen noch 34 Zoll lang.

Bei jedem Versuche wurde eine neue unmagnetische englische Nähnadel in die Spirale gelegt, welche 13,9''' lang und in der Mitte 0,19''' dick war. Nachdem der Entladungsschlag durch die Spirale hindurch gegangen war, war auch die Nadel magnetisch geworden. Um die Stärke ihres Magnetismus zu untersuchen, wurde sie bis auf eine bestimmte Entfernung einer 2 Zoll langen Boussolennadel genähert (wie, ist nach der Beschreibung von Rieß nicht wohl zu verstehen) und die Ablenkung der Boussolennadel beobachtet, welche sie hervorbrachte.

Bei gesteigerter Ladung der Batterie änderte sich nicht allein die Stärke, sondern auch die Polarität des Magnetismus der Nadel, wie man aus folgender Tabelle ersieht:

Q	5	10	15	20	25	27	29	30	32	35
Abstoßung	9^0	14,5	15	10,3	6,5	—2,5	—7,5	—8,5	2,3	11,5

Man sieht, daß eine stärkere Ladung der Batterie nicht unbedingt eine stärkere Magnetisirung zur Folge hatte, daß ferner nicht immer die Magnetisirung so erfolgte, wie man es nach der Amper'schen Regel (daß ein mit dem positiven Stome schwimmend gedachtes Phantom, wenn es die Nadel anschaut, den Nordpol derselben zur Linken hat) hätte erwarten sollen, denn bei allen mit — bezeichnenden Ablenkungen fand eine anormale Magnetisirung der Nadel Statt.

Bei dieser Versuchsreihe nahm die Stärke des Magnetismus der Nadel mit der Größe der Ladung anfangs zu, dann wieder ab, bis endlich die Richtung des Magnetismus sogar umgekehrt wurde, und erst bei noch stärkeren Ladungen wieder eine normale Magnetisirung auftrat.

Diese Versuche sind ein Beweis, daß man von der Polarität der Nadel nicht auf die Richtung des Entladungsstromes schließen darf.

Bei schwächeren Ladungen war die Nadel normal magnetisirt; anormale Magnetisirung tritt bei steigender Ladung nur bei dünneren Nadeln auf; dickere Nadeln sind stets normal magnetisirt, obgleich stärkere und stärkere Ladungen auch in ihnen eine Ab- und Zunahme in der Stärke des Magnetismus bewirken.

58 **Magnetisirung durch den Nebenstrom.** Diese Eigenthümlichkeiten der Magnetisirung der Stahlnadeln findet in gleicher Weise für den Nebenstrom Statt. Die Magnetisirung durch den Nebenstrom wird der Stärke und der Richtung nach geändert:

1) durch Vergrößerung der Ladung;

2) durch Vergrößerung der Oberfläche der Batterie bei gleicher Größe der Ladung. Je größer die Oberfläche, desto stärker fand Rieß den Magnetismus der Nadel; wenn dieselbe Elektricitätsmenge auf eine größere Oberfläche vertheilt ist, so hat sie eine geringere Dichtigkeit, welcher eine langsamere Entladung entspricht, durch welche die Magnetisirung befördert wird.

3) Es wird der Gang der Perioden der Ab- und Zunahme, so wie der Umkehrung des Magnetismus verändert, durch eine Veränderung in der Schließung der Nebenspirale, dadurch also, daß man in der Schließung der Nebenspirale längere und längere Drähte einschaltet.

Bleibt die Nebenschließung zwar metallisch dieselbe, wird sie aber an einer Stelle unterbrochen, so daß hier der Nebenstrom mit einem Funken übergehen muß, so hat dies den merklichsten Einfluß auf die Magnetisirung; oft wird dadurch der Magnetismus auf das bedeutendste verstärkt, zuweilen geschwächt, ja sogar auch in Beziehung auf die Richtung geändert. Die stärksten Magnetisirungen durch den Nebenstrom, die nahe bis zur Sättigung der Nadel gingen, sind auf diese Weise erhalten worden.

4) Es findet eine successive Veränderung in der Stärke und auch eine Veränderung in der Richtung der Magnetisirung durch die Nebenspirale Statt, wenn caeteris paribus die Länge der Schließung der Hauptspirale successiv vergrößert wird.

Zu diesen Magnetisirungsversuchen kann man den Apparat, Fig. 62, sehr bequem anwenden. Man nimmt die untere Spirale zur Nebenspirale und schaltet die Magnetisirungsspirale zwischen x und y ein, indem man die Enden der Magnetisirungsspirale in sie einschraubt.

59 **Wärmeerregung durch den Nebenstrom.** Daß der Nebenstrom auch thermische Erscheinungen hervorbringt, ist bereits erwähnt worden; Rieß hat jedoch auch die Gesetze der Wärmeentwickelung durch den Nebenstrom näher untersucht. (P. A. 47. 65.)

In den Schließungsbogen der Nebenspirale wurde eine Magnetisirungs-

spirale und ein elektrisches Luftthermometer eingeschaltet. Die folgende Tabelle enthält die thermischen und magnetischen Wirkungen, welche der Nebenstrom hervorbringt, wenn die Oberfläche und die Ladung der Batterie geändert wird. s und q haben die bekannte Bedeutung.

s	q	Erwärmung beobachtet.	Erwärmung berechnet.	Magnetisirung.
5	15	3,8	3,4	
	20	6,2	6,0	
	25	9,0	9,4	
	30	12,0	13,5	
10	20	3,4	3,0	0,5°
	30	7,0	6,8	1,5
15	30	4	4,5	1,5
20	30	3,5	3,4	4,0
25	30	2,5	2,7	2,3
	40	4,4	4,8	—0,6
5	20*	6,2		8,8
	25*	8,3		2,0
	30*	9,8		—3,6

In der letzten Columne sind die durch die magnetisirte Nadel hervorgebrachten Ablenkungen der Boussole in der oben angedeuteten Beziehung verzeichnet. Wo keine Abstoßung verzeichnet ist, war die Magnetisirung unmerklich.

Bis auf die drei letzten mit * bezeichneten Beobachtungen stimmen die beobachteten Erwärmungen sehr wohl mit der Formel $h = a\frac{q^2}{s}$. Aus allen Beobachtungen (die von Rieß gegebene Tabelle enthält noch einige Beobachtungen mehr) ergiebt sich für a der Mittelwerth 0,075; die mit diesem Werthe nach der Formel $h = a\frac{q^2}{s}$ berechneten Werthe der Erwärmung stimmen ganz gut mit den beobachteten; die Formel

$$h = a\frac{q^2}{s}$$

gilt also auch für die durch den Nebenstrom hervorgebrachten Erwärmungen.

Bei den mit * bezeichneten Beobachtungen war die Nebenschließung unterbrochen, so daß der Nebenstrom mit einem Funken übergehen mußte. Dies hat, wie bekannt, auf die Magnetisirung einen sehr bedeutenden Ein=

fluß, der sich auch hier zeigt, während die Erwärmung nur unbedeutend dadurch afficirt wird; sie fällt etwas kleiner aus.

Als in die Hauptschließung ein 78''' langer, $\frac{1}{12}$ Linie dicker Neusilberdraht eingeschaltet wurde, fielen die Erwärmungen kleiner aus, der Factor a, welcher oben gleich 0,075 gefunden worden war, ergab sich nun gleich 0,028.

Wie leicht begreiflich, wird die Elektricitätsmenge im Nebenstrom desto größer seyn, ein je größerer Theil der Hauptspirale unter sonst gleichen Umständen auf die Nebenspirale einwirkt. Um die hierdurch entstehende Vergrößerung des Nebenstromes zu bestimmen, wurde die Nebenspirale BB, Fig. 59, nur durch den Platindraht des Thermometers geschlossen, zuerst nur auf die geradlinige Verlängerung der Hauptspirale AA geschoben und die Erwärmung gemessen, welche durch die Entladung von $q = 20$ in $s = 5$ im Nebendrahte hervorgebracht wurde. Dann wurde in successiven Versuchen eine verschiedene Anzahl von Windungen der Hauptspirale unter die Nebenspirale gebracht und dieselbe Elektricitätsmenge auf dieselbe Weise entladen. Diese Versuche gaben folgende Resultate.

Länge des geraden Drahtes.	Zahl der Windungen.	Erwärmung im Nebendraht.
134'''	0	1,85
102	24	4,9
63,4	53	7,6
24,8	82	11,5
0	101	14,0

Die Zahlen der letzten Columne sind das Mittel aus zwei sehr nahe dasselbe Resultat gebenden Versuchen.

Da man weiß, welche Erwärmung (1,85) im Nebendraht der Einwirkung eines 134''' langen gerade ausgespannten Stückes des Hauptdrahtes, so läßt sich berechnen, welche Erwärmung im Nebendraht durch die Einwirkung eines 102''', — 63, 4''' u. s. w. langen geraden Stückes des Hauptdrahtes hervorgebracht wird und so ist man im Stande, zu ermitteln, welche Erwärmung durch die Einwirkung von 24, 53, 82, 101 Windungen des Hauptdrahtes allein hervorgebracht wird; es ergiebt sich

bei 24 Windungen	. .	3,5
» 53 » »	. .	6,7
» 82 » »	. .	11,2
» 101 » »	. .	14,0

Die Erwärmung ist in der That der Anzahl der wirkenden Windungen

der Hauptspirale sehr nahe proportional, es ergiebt sich also, daß die von dem Schließungsdrahte der Batterie in einem Nebendrahte erregte Elektricitätsmenge unter sonst gleichen Umständen der wirksamen Länge des Schließungsdrahtes proportional ist.

Wenn über dieselbe Hauptspirale *AA* derselbe Nebendraht einmal parallel mit der Hauptspirale, dann aber mit steileren Windungen aufgewunden wird, so daß also die Hauptspirale zwar immer ihrer ganzen Länge nach, aber einmal auf einen längern mit ihr gleichlaufenden und dann auf einen kürzeren und steiler laufenden Theil des Nebendrahtes einwirkt, so ist im letzteren Fall die Wirkung begreiflicher Weise um so geringer, je mehr die Richtung der Windungen bei den Spiralen von einander abweicht, je steiler also die Nebenspirale im Vergleich zur Hauptspirale ist.

Alle zu den bisherigen Versuchen angewandten Spirale waren rechts gewunden. Auf die Stärke des Nebenstromes ist es nicht gleichgültig, ob die Nebenspirale in gleichem oder entgegengesetztem Sinne aufgewunden ist, wie die Hauptspirale. Auf eine rechts gewundene Hauptspirale wurde 8′ Kupferdraht einmal rechts, einmal links aufgewunden, es ergab sich

	Erwärmung.
Nebenspirale rechts	15,4
» » links	2,7

Wirkung des Hauptdrahtes auf verschiedene Nebendrähte. 60
Ein 26 Zoll langes Stück *ab* desjenigen Drahtes, welcher den Hauptdraht bildete, war geradlinig ausgespannt; parallel mit ihm lief ein auf gleicher Länge gerade ausgespanntes Stück *cd* des Nebendrahtes. Die ganze Nebenschließung, in welche der elektrische Luftthermometer eingeschaltet wurde, bestand aus Kupfer- und Eisendraht. Mag nun das Stück *c d* der Nebenschließung, welches *ab* gegenüber lag, ein Theil des Eisendrahtes oder ein Theil des Kupferdrahtes seyn, welcher die Nebenschließung bildet, so ist bei gleicher Ladung der Batterie die Erwärmung des Thermometers dieselbe, vorausgesetzt, daß der Eisendraht und der Kupferdraht gleiche Durchmesser haben und der Zwischenraum im Lichten zwischen *a b* und *c d* derselbe ist.

Wenn also der Leitungswiderstand der gesammten Nebenschließung nur unverändert bleibt, so ist es für die Stärke des Nebenstromes ganz gleichgültig, ob ein besser oder ein schlechter leitendes Drahtstück der Einwirkung des Hauptdrahtes ausgesetzt ist.

Es war mir nicht möglich, die Anordnung der hierher gehörigen Versuche aus der Beschreibung (P. A. 50. 3) vollständig zu verstehen.

61 **Abnahme des Nebenstromes nach der Entfernung vom Hauptdraht.** Um zu ermitteln, wie die Einwirkung auf den Nebendraht mit der Entfernung vom Hauptdrahte abnimmt, müssen die parallel laufenden Stücke eine größere Länge haben, weil sonst bei etwas großen Entfernungen die Erwärmung im Nebendrahte zu gering ausfällt.

Rieß (P. A. 50. 7) spannte zwei 10′ 6″ lange Kupferdrähte parallel aus. Der eine wurde durch 6 Fuß lange Kupferdrähte in den Schließungsbogen der Batterie eingeschaltet, die Enden des andern wurden durch ähnliche Drähte mit dem Platindraht des Thermometers verbunden. Wenn die Axenentfernung der parallelen Drahtstücke geändert wurde, so ergab sich aus den Angaben des Thermometers, daß der von dem gerade ausgespannten Theile des Schließungsdrahtes der Batterie in dem parallelen Drahte erregte Strom in dem Verhältnisse abnimmt, in welchem die Axenentfernung der Drähte wächst, vorausgesetzt, daß man nicht von einer zu geringen Entfernung der Drähte ausgeht; wenn man nämlich die Drähte über eine gewisse Gränze nähert, so nehmen die Erwärmungen in geringerm Verhältniß zu, als die Entfernungen abnehmen.

Um einigermaßen bedeutende Erwärmungen durch den Nebenstrom zu erlangen, muß man mit großen Drahtlängen operiren, deren Handhabung sehr unbequem ist, wenn sie gerade ausgespannt seyn sollen. Es ist daher, wo man nur die Erregung eines intensiven Nebenstromes beabsichtigt, bei weitem vorzuziehen, die Drähte in flache Spirale aufzuwinden, wie dieß schon oben S. 144 beschrieben wurde.

Der Strom, der von der Hauptspirale in der Nebenspirale erregt wird, ist desto schwächer, je weiter die Spiralen von einander entfernt sind, aber man begreift leicht, daß zwischen der Stärke des Stromes und der Entfernung der Spiralen kein einfaches Verhältniß stattfinden kann, denn irgend ein Bogenstück der Hauptspirale erregt nicht allein in dem zunächstliegenden nach derselben Seite gekrümmten Stücke der Nebenspirale einen Strom, sondern auch in entfernteren entgegengesetzt gekrümmten Stücken; letzterer ist zwar schwächer, aber er wirkt dem ersteren entgegen und vermindert seine Wirkung. Offenbar aber ändert sich das Verhältniß der beiden entgegengesetzten Ströme in der Nebenspirale, wenn die Entfernung der Spiralen geändert wird. Wenn man von ganz geringen Entfernungen der beiden Spiralen ausgeht, so nimmt die Stärke des Nebenstromes anfangs weit langsamer, bei größerer Entfernung aber weit rascher ab, als die Entfernung der Spiralen.

62 **Einwirkung von nebenstehenden geschlossenen Leitern auf die Erregung des Nebenstromes.** Auf dem Boden eines Zimmers spannte Rieß (P. A. 50. 12) drei 0,55‴ dicke Kupferdrähte in einer Länge von

10′ 6″ parallel neben einander aus. Diese Drähte seyen der Ordnung nach mit *A*, *B* und *C* bezeichnet; die Axenentfernung von *A* und *B* betrug 4,45‴, die von *B* und *C* 2,35‴.

Der Draht *A* wurde in den Schließungsbogen der Batterie eingeschaltet; von den Enden des Drahtes *C* führten 6′ lange Kupferdrähte zum Thermometer, so daß also der Thermometer in den Nebendraht *C* schloß. Als *B* ganz weggenommen wurde, ergab sich für die Einheit der Ladung eine Erwärmung 0,135 im Thermometer. Als der Draht *B* wieder an seine Stelle gelegt wurde, ergab sich fast ganz genau dieselbe Erwärmung, als aber die Enden von *B* durch einen 14 Fuß langen Kupferdraht verbunden wurden, wurde die Erwärmung nur 0,094 gefunden. Es folgt hieraus:

Der vom Schließungsdrahte der Batterie in einem Nebendrahte erregte Strom bleibt unverändert, wenn zwischen beiden Drähten ein Draht mit freien Enden liegt, der Strom wird aber vermindert, wenn der Zwischendraht in sich geschlossen ist.

Es ist nicht gerade nöthig, daß der Draht *B* zwischen *A* und *C* liege, damit er den Strom in *C* schwächt, welcher durch den Entladungsstrom erzeugt wird, der den Draht *A* durchläuft. *B* könnte jenseits *C* oder jenseits *A* liegen, so wird der durch den Hauptstrom *A* im Nebendraht *C* erzeugte Nebenstrom stets schwächer seyn, wenn *B* geschlossen ist, wenn also auch in *B* ein Nebenstrom entsteht, als wenn dies nicht der Fall ist. Wenn also der Hauptdraht der Batterie in zwei einander nahe stehenden Nebendrähten elektrische Ströme erregt, so ist jeder der beiden Nebenströme schwächer, als wenn der andere nicht vorhanden wäre.

Zwei Spiralscheiben von 6 Zoll Durchmesser, jede aus 13 Fuß 0,55 Linien dickem Kupferdraht gebildet, wurden 10‴ von einander entfernt aufgestellt. Das Thermometer der Nebenspirale zeigte eine bedeutende Erwärmung (42 Scalentheile), als durch die Hauptspirale die in 4 Flaschen angehäufte Elektricitätsmenge 20 entladen wurde. Als aber unter sonst gleichen Umständen dieselbe Elektricitätsmenge entladen wurde, während eine Kupferscheibe von 6″ 10‴ Durchmesser und 0,33‴ Dicke zwischen beiden Spiralen aufgestellt war, zeigte das Thermometer der Nebenspirale keine merkliche Erwärmung.

Dieser bedeutende Effect der Kupferscheibe hing offenbar von der guten Leitung ab, welche sie dem Strom gewährte.

Soll die Zwischenscheibe noch eine merkliche Erwärmung in der Nebenspirale bestehen lassen, so muß sie schlechter leiten. In dem Maaße, als

die Leitungsfähigkeit der Zwischenplatte abnimmt, wächst der Strom in der Nebenspirale.

Als Zwischenscheibe wurde der Reihe nach angewandt 1) ein 0,01''' dickes Stanniolblatt; 2) ein solches von 0,0168''' Dicke; 3) beide zusammen; 4) ein Blatt unächten Silberpapiers. Diese Blätter waren stets zwischen Glasplatten geklemmt, 1''' weit von der Hauptspirale aufgestellt worden; als die beiden Spiralen 2½''' weit von einander abstanden, ergaben sich folgende Erwärmungen in der Nebenspirale für die Einheit der Ladung:

Ohne Zwischenscheibe		. . . . . .	0,66
Zwischenscheibe:		unächtes Silberpapier .	0,57
»	»	dünnes Stanniolblatt .	0,087
»	»	dickes Stanniolblatt .	0,056
»	»	beide Stanniolblätter .	0,034

Vergleicht man die drei zuletzt angegebenen Erwärmungen mit den entsprechenden Dicken der eingeschalteten Stanniolblätter, so ergiebt sich, daß die Stromstärke im Nebendrahte der Dicke der eingeschobenen Metallscheibe umgekehrt proportional ist.

Dasselbe Resultat erhielt man, als die Versuche in gleicher Weise bei größerer Entfernung wiederholt wurden.

63 **Wirkung isolirender Zwischenplatten auf die Bildung des Nebenstromes.** Faraday hat bei der in Ruhe befindlichen Elektricität den verschiedenen Isolatoren ein specifisches Vertheilungsvermögen zugeschrieben, so daß durch eine Glas- und Schellackplatte hindurch die Vertheilung weit stärker sey, als durch Luft.

Man kann nun die Entstehung des Nebenstromes nicht gut anders, als durch eine Elektricitätserregung durch Vertheilung erklären, und dürfte daher einen Strom von verschiedener Stärke erwarten, je nachdem zwischen die Haupt- und Nebenspirale Scheiben von verschiedenen isolirenden Substanzen eingeschaltet werden.

Da die festen Isolatoren ein größeres specifisches Vertheilungsvermögen besitzen sollen, als Luft, so würde sich mit Hülfe des Nebenstromes eine scharfe Grenze zwischen festen Leitern und Isolatoren der Elektricität ziehen lassen. Während nämlich die Leiter als Zwischenplatten angewandt den durch Luft vermittelten Nebenstrom verringern, müßten die Isolatoren, als Zwischenplatten angewandt, denselben verstärken.

Rieß hat trotz sorgfältiger Untersuchung eine solche Verstärkung des Nebenstromes durch Einschiebung isolirender Zwischenplatten, als Glas, Schellack u. s. w. nicht finden können. Die Anwendung dieser isolirenden Zwischenplatten änderte nichts in der Stärke des Nebenstromes, welche

genau eben so groß gefunden wurde, als ob sich blos Luft zwischen den Spiralen befunden hätte. (P. A. 50. 18.)

Wirkung des Schließungsdrahtes der Batterie auf sich selbst. 64
In einem Drahte mit freien Enden kann, wie wir gesehen haben, durch Vertheilung kein elektrischer Strom erregt werden. Der Schließungsdraht der elektrischen Batterie ist nun ein solcher Draht; da aber hier der Umstand eintritt, daß seine freien Enden in ausgedehnte Metallflächen verlaufen, welche die Anhäufung entgegengesetzter Elektricitäten gestatten, so ist es doch nöthig, experimentell zu untersuchen, ob nicht ein Theil des Schließungsdrahtes auf einen andern Theil desselben vertheilend wirken könne.

Rieß suchte die Frage auf folgende Weise zu lösen (P. A. 50. 19).

Die beiden Spiralen, von denen der eine bisher als Haupt-, der andere als Nebenspirale gedient hatte, wurden in geringer Entfernung einander gegenüber gestellt und sie dann so verbunden, daß sie eine einzige Drahtleitung bildeten, so also, daß in dem Schließungsbogen der Batterie eingeschaltet, der Entladungsstrom durch den einen und durch den anderen gehen mußte.

Einmal wurde das Randende der einen Spirale mit dem Centrumende der anderen durch einen Kupferdraht verbunden, so daß wenn der Entladungsstrom in der einen Spirale von der Mitte zum Rande lief, er auch in der anderen von der Mitte zum Rande laufen mußte, daß also der Entladungsstrom die beiden Spirale in gleicher Richtung durchlief.

Dann wurde das Randende der einen Spirale mit dem Randende der anderen leitend verbunden, so daß der Strom, den der eine von der Mitte zum Rande durchläuft in der zweiten Spirale vom Rande zur Mitte geht, daß also der Entladungsstrom die beiden Spiralen in entgegengesetzter Richtung durchläuft.

Wenn nun ein Theil des Schließungsbogens auf den anderen eine Einwirkung ausüben kann, so muß im ersten Fall jede Spirale in der anderen einen mit dem Hauptstrom gleich gerichteten, bei der letzten Verbindungsweise der Spirale aber einen dem Hauptstrom entgegengesetzten Strom erzeugen; im letzteren Falle müßte also caeteris paribus die Stromstärke schwächer ausfallen als im ersten.

Würde nun außer den combinirten Spiralen noch das Thermometer in den Schließungsbogen eingeschaltet, so zeigte es unter sonst gleichen Umständen völlig gleiche Erwärmung, mogten nun die Spiralen auf die eine oder andere Weise verbunden seyn, woraus folgt, daß bei der Entladung der Batterie kein Theil des Schließungsdrahtes vertheilend auf den anderen wirkt.

65 **Verzögerung der elektrischen Entladung durch Leiter, welche dem Schließungsdrahte der Batterie nahe stehen.** Rieß schaltete (P. A. 49. 393) in den Schließungsbogen der Batterie außer dem Luftthermometer noch einen 13′ langen, 0,55 Linien dicken Kupferdraht ein, der auf einer mit schwarzem Pech überzogenen, auf einem Glasfuße stehenden Holzscheibe von 6″ Durchmesser zu einer flachen Spirale gewunden war, in der Weise, wie es bei dem Fig. 61 dargestellten Apparat der Fall ist. Eine mit dem so eingerichteten Schließungsbogen gemachte Versuchsreihe gab

$$h = 0,43 \frac{q^2}{s}.$$

Nun wurde parallel mit der Hauptspirale $2\frac{1}{2}'''$ von ihr entfernt eine Kupferscheibe von 6″ 10‴ Durchmesser uud 0,33‴ Dicke aufgestellt, und es ergab sich

$$h = 0,41 \frac{q^2}{s}.$$

Endlich wurde parallel mit der Hauptspirale eine ihr ganz gleiche Nebenspirale aufgestellt, deren Enden in vollkommener metallischer Verbindung waren, und es ergab sich

$$h = 0,42 \frac{q^2}{s}.$$

Also weder die Kupferscheibe, noch die Nebenspirale übten einen merklichen Einfluß auf die Erwärmung im Schließungsbogen aus.

Statt der vollkommenen metallischen Schließung wurde nun an der Nebenspirale eine unvollkommene angebracht, d. h. die Enden der Kupferspirale wurden durch einen Platindraht von 138‴ Länge und 0,023‴ Radius geschlossen. Als die so geschlossene Nebenspirale 5‴ weit von der Hauptspirale aufgestellt wurde, ergab sich

$$h = 0,32 \frac{q^2}{s},$$

als sie aber nur $2\frac{1}{2}'''$ weit von der Hauptspirale entfernt war, ergab sich

$$h = 0,27 \frac{q^2}{s}$$

Die Nebenspirale durch einen 460‴ langen und $\frac{1}{12}'''$ dicken Draht von Neusilber geschlossen und $2\frac{1}{2}$ Linien von der Hauptspirale entfernt aufgestellt, gab

$$h = 0,17 \frac{q^2}{s}.$$

Die Nebenspirale durch eine mit Wasser gefüllte Glasröhre von 9 Zoll Länge geschlossen, gab

$$h = 0,39 \frac{q^2}{s}.$$

Wir wollen nun diese Resultate einer etwas näheren Betrachtung unterwerfen.

Der Strom in den Schließungsbogen erregt, wie wir schon oben gesehen haben, einen Strom, sowohl in der nahe gestellten Kupferscheibe als auch in der Nebenspirale, der Strom in der Nebenspirale kann aber in der Hauptspirale keinen Strom induciren, weil diese nicht metallisch geschlossen ist (die beiden Belegungen der Flasche sind ja durch Glas getrennt), die einzig mögliche Einwirkung des Stromes in der Nebenspirale auf den Strom in der Hauptspirale ist die, daß er etwa eine Verzögerung des Entladungsstromes bewirkt.

Wenn nun die Schließung der Nebenspirale vollkommener ist, als die der Hauptspirale, so wird auch der Strom der Nebenspirale rascher verlaufen als der der Hauptspirale, und deshalb kann keine Rückwirkung von der Nebenspirale auf die Hauptspirale stattfinden, daher denn auch bei guter Schließung der Nebenspirale die Erwärmung im Schließungsbogen nur unbedeutend geringer gefunden wurden, als wenn gar keine Nebenspirale vorhanden gewesen wäre.

Bei unvollkommen metallischer Schließung der Nebenspirale, ist der Nebenstrom von längerer Dauer, der Entladungsstrom im Hauptdraht findet also während seiner ganzen Dauer den Nebendraht von einem gleichgerichteten Strom durchlaufen, und wir müssen annehmen, daß dies die Ursache der Verzögerung des Hauptstroms ist, welche sich durch die verringerte Erwärmung kund giebt; durch unvollkommene Schließung der Nebenspirale wurde ja die Erwärmung im Hauptstrom im Verhältniß von 0,43 bis zu 0,17 herabgebracht.

Bei Einschaltung der Wasserröhre in der Schließung der Nebenspirale wird die Erwärmung im Hauptdraht wieder größer, ja fast so groß, als ob gar keine Nebenspirale dagewesen wäre, was sich sehr gut dadurch erklärt, daß bei sehr schlechter Schließung der Nebenspirale kein merklicher Nebenstrom erregt wird.

Der Umstand, daß bei ganz vollkommener sowohl, als auch bei ganz schlechter Schließung der Nebenspirale die Wirkung auf den Hauptdraht geringer ist, als für eine mittelmäßig gute Schließung, läßt erwarten, daß, wenn man die Nebenspirale durch längere und immer längere dünne Drähte schließt, daß alsdann anfangs die Erwärmung im Schließungsbogen der Hauptspirale abnimmt, daß bei einer bestimmten Länge des eingeschalteten Drahtes die Wirkung der Nebenspirale ein Maximum wird, daß sie wieder abnimmt, daß also die Erwärmung im Schließungsbogen die Hauptspirale wieder zunimmt, wenn man den Draht, durch welchen die Nebenspirale geschlossen ist, nun noch mehr verlängert.

Dies wird durch Versuche bestätigt, welche Rieß angestellt hat (P. A.

51. 177). Bezeichnen wir durch 100 die Erwärmung, welche an dem Thermometer beobachtet wurde, welches in den Schließungsbogen der Hauptspirale eingeschaltet ist, wenn die Nebenspirale durch einen kurzen dicken Kupferdraht geschlossen war, so ergab sich:

Bei Einschaltung von 0,1577''' dickem Neusilberdraht, dessen Länge betrug	eine Erwärmung.
4,8'	70
9,8	55
19,7	52
29,6	48
39,4	52
88,7	61
138	66
286	76
582	87
Nebenspirale offen	100.

Man sieht aus dieser Tabelle, wie bei zunehmender Länge des in die Schließung der Nebenspirale eingeschalteten Neusilberdrahtes anfangs die Erwärmung des Thermometers in der Schließung der Hauptspirale sehr rasch abnimmt, daß sie ein Minimum wird, wenn die Länge des eingeschalteten Neusilberdrahtes 29,6 pariser Fuß beträgt, für welchen Fall die Erwärmung nur noch 48 Procent von der beträgt, welche bei vollkommener Schließung der Nebenspirale beobachtet wird. Wächst die Länge des eingeschalteten Drahtes über 29,6 hinaus, so nimmt die Erwärmung allmälig wieder zu; durch eine Verlängerung des Neusilberdrahtes bis auf 582 Fuß steigt die Erwärmung wieder bis auf 87 Procent der ursprünglichen.

Ein neben dem Schließungsdraht der elektrischen Batterie befindlicher metallisch geschlossener Draht, wirkt also nach Maaßgabe seiner Schließung auf die Batterieentladung verzögernd ein. Wird die Schließung des Nebendrahtes progressiv verlängert, so nimmt die Einwirkung desselben zu, erreicht ein Maximum und nimmt von dort fortwährend wieder ab.

Die Veränderungen, welche die Erwärmung im Hauptdrahte durch die Verlängerung des Nebendrahtes erleidet, befolgen das in der letzten Tabelle angeführte Gesetz, mag nun die Ladung der Batterie stärker oder schwächer seyn, bei stärkerer Ladung sowohl wie bei schwächerer ist die verzögernde Wirkung des Nebendrahtes ein Maximum, wenn die Nebenspirale durch 29,6 Fuß des erwähnten Neusilberdrahtes geschlossen ist; die Erwärmung im Hauptdraht ist in diesem Fall 48 Procent von der, welche

man bei gleicher Ladung beobachtet haben würde, wenn die Nebenspirale vollkommen metallisch geschlossen gewesen wäre; sobald aber der Schließungsbogen des Hauptdrahtes durch Einschaltung eines dünnen Drahtes verlängert wird, ändert sich der Gang der verzögernden Wirkung des Nebendrahtes.

In der Hauptschließung wurde ein Platindraht von 7″ 5‴ Länge und 0,023‴ Radius eingeschaltet, und nun ergaben sich die in folgender Tabelle zusammengestellten Resultate.

Nebenspirale geschlossen durch Neusilberdraht von der Länge	Erwärmung im Hauptdraht
0′	100
29,6	82
49,3	78
69	78
237	91
572	99.

Wie man sieht, findet jetzt bei verlängerter Hauptschließung das Maximum der Wirkung des Nebendrahtes erst bei einer größeren Länge der Einschaltung in die Nebenspirale Statt, außerdem aber ist die verzögernde Wirkung des Nebendrahtes jetzt viel geringer. Während bei der früheren Versuchsreihe die Erwärmung im Hauptdrahte durch das Maximum der Wirkung der Nebenspirale auf 48 Procent herabgebracht wurde, bewirkt jetzt das Maximum der Wirkung der Nebenspirale nur eine Reduction auf 78 Procent derjenigen Erwärmung, welche man ohne Nebenspirale, oder bei ganz vollkommener Schließung derselben beobachtet haben würde.

Es ist dies leicht zu erklären. Es wird ein um so stärkerer Nebenstrom erregt, ein je größerer Theil des Hauptdrahtes auf den Nebendraht einwirkt, und dem stärkeren Nebenstrome müssen wir auch eine stärkere Rückwirkung auf die Entladung zugestehn. In beiden Versuchsreihen war es dieselbe Länge des Hauptdrahtes, nämlich eine Länge von 13 Fuß Kupferdraht, welche auf eine gleiche Länge des Nebendrahtes einwirkte. Bei der ersten Versuchsreihe machen diese 13′, bei weiten den größten Theil des Schließungsbogens der Batterie aus, bei der zweiten Versuchsreihe war aber ein Platindraht eingeschaltet, dessen Verzögerungskraft gleich ist der eines 568 Fuß langen, 0,55‴ dicken Kupferdrahtes, in dem letzten Falle wirkte also ungefähr nur der 44ste Theil der Gesammtlänge des Hauptdrahtes auf die Nebenspirale.

Rieß ließ noch zwei Spiralscheiben machen, deren jede 53½ Fuß Ku-

pferdraht von $2/3$ Linie Dicke enthielt. In die Hauptschließung wurde die große und die kleine Spirale eingeschaltet.

War nun der kleinen Hauptspirale die kleine Nebenspirale in 2 Linien Entfernung gegenüber gestellt, so fand das Maximum der verzögernden Wirkung der Nebenspirale Statt, als sie durch 29,6′ Neusilberdraht geschlossen war. Bei diesem Maximum der Wirkung der Nebenspirale war die Erwärmung in der Hauptschließung noch 76 Procent von derjenigen, welche man ohne Nebenspirale oder bei vollkommner Schließung derselben beobachtete.

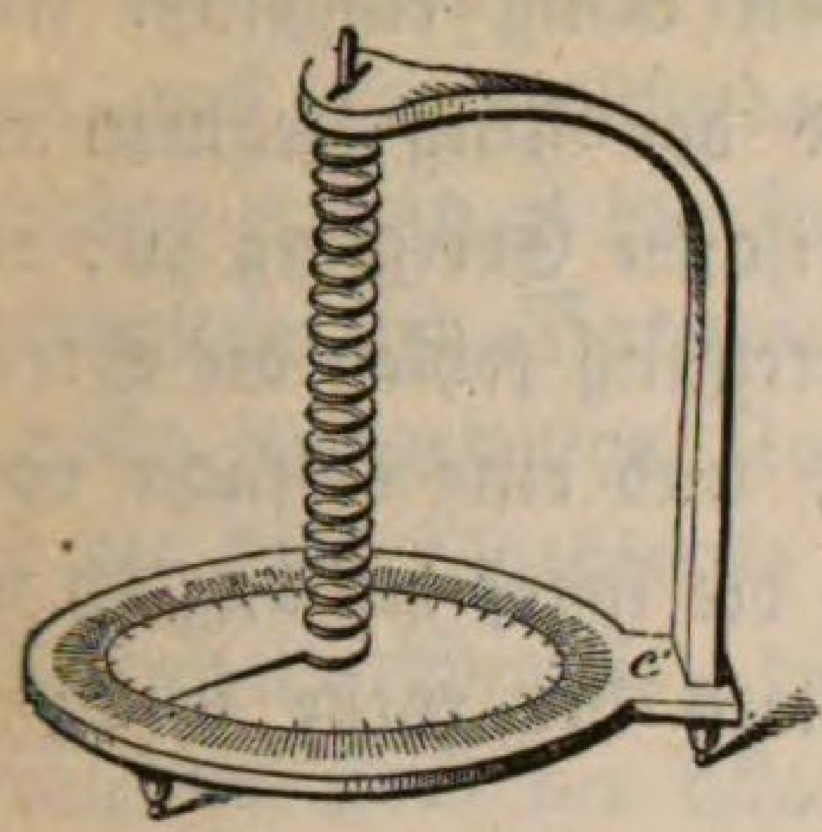
Als die große Nebenspirale der großen Hauptspirale in 2 Linien Entfernung gegenüberstand, fand das Maximum der verzögernden Wirkung des Nebendrahtes Statt, als derselbe durch 79 Fuß Neusilberdraht geschlossen war, und bei dieser Schließung wurde die Erwärmung im Hauptdraht durch die verzögernde Wirkung der Nebenspirale bis auf 25 Procent herabgebracht.

Endlich wurden die beiden Nebenspiralen gehörig verbunden den beiden Hauptspiralen gegenüber gestellt, und nun mußten 138 Fuß Neusilberdraht in die Nebenschließung eingeschaltet werden, um das Maximum der verzögernden Wirkung zu erhalten, und dabei die Erwärmung im Hauptdraht auf 20 Procent derjenigen herabgebracht, die man ohne Nebenspirale beobachtet haben würde. Es folgt aus diesen Versuchen:

Das Maximum der Wirkung eines Nebendrahtes auf die elektrische Entladung, welches durch Verlängerung der Nebenschließung erreicht wird, ist ein desto größeres, ein je größerer Theil des Hauptdrahtes auf den Nebendraht einwirkt. Zugleich ist aber auch zur Erreichung dieses Maximums eine um so längere Schließung des Nebendrahtes erforderlich.

Die Länge des Platindrahtes im Luftthermometer betrug bei diesen Versuchen 143,5 Linien. Der Platindraht im Thermometer, welcher sehr lang ist im Verhältniß zur ganzen Schließung, kann aber niemals vertheilend auf den Nebendraht wirken; um zu machen, daß ein möglichst großer Theil des Hauptdrahtes auf die Nebenspirale wirkt, müßte man den Draht im Thermometer verkürzen, wodurch allerdings die Wirkung des Hauptdrahtes auf den Nebendraht vermehrt, dagegen aber auch die Empfindlichkeit des Thermometers vermindert wird. Rieß wandte nun, um den Platindraht, welcher die Hauptspirale schließt, mehr verkürzen zu können, statt des Luftthermometers ein Berguet'sches Metallthermometer an. In der Axe einer empfindlichen thermometrischen Spirale, ähnlich der in Fig. 63 abgebildeten, wurde ein gradliniger Platindraht von 61,5 Li-

Fig. 63.



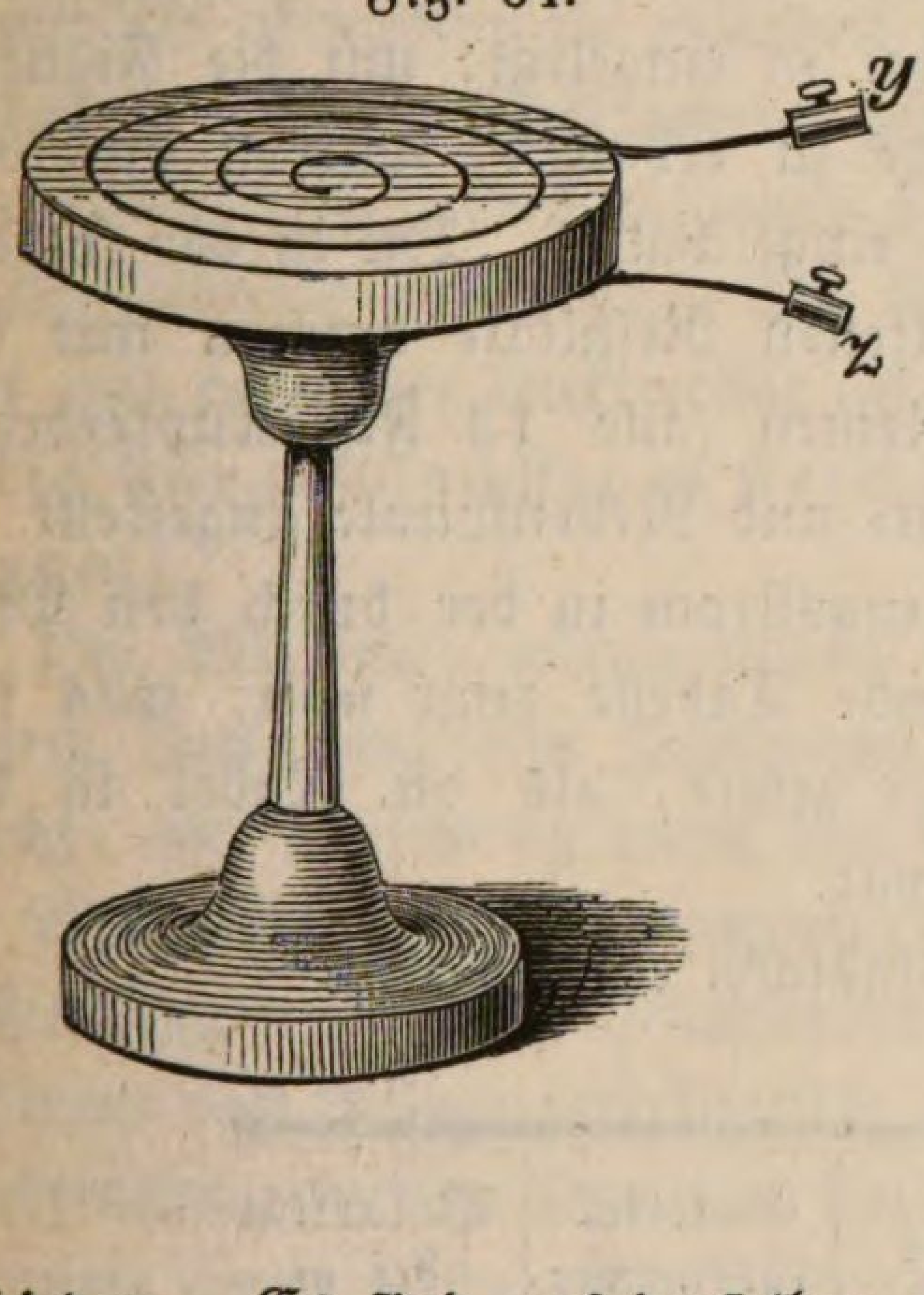
nien Länge und 0,04''' Radius unverrückbar befestigt, und auf zweckmäßige Weise in den Schließungsbogen eingeschaltet. Das Instrument wird natürlich unter eine Glasglocke gestellt. Durch eine Batterieentladung wird der Platindraht in der Axe der Spirale erwärmt, er theilt diesen seine Wärme mit, der Zeiger durchläuft eine Anzahl Grade, kehrt aber sogleich wieder auf seinen früheren Stand zurück, weil die Abkühlung wegen des großen Volumens der Luft unter der Glocke rasch erfolgt.

Die Versuche mit dem Metallthermometer lehren nichts neues, ich glaube sie deßhalb nicht weiter anführen zu müssen, dagegen glaubte ich diese Beobachtungsmethode nicht unerwähnt lassen zu dürfen.

Richtung des elektrischen Nebenstromes. Um zu untersuchen, ob 66
die Richtung des Nebenstromes sich mit der Entfernung des Nebendrahtes vom Hauptdraht ändern, wandte Rieß folgende Methode an. (P. A. 51. 351.)

Bringt man zwischen den freien Enden der Nebenspirale einen Isolator an, welcher von der Elektricität nicht durchbrochen wird, so entsteht kein Nebenstrom. Nichtsdestoweniger ist das elektrische Gleichgewicht des Nebendrahtes durch den Act, welcher den Nebenstrom einleitet, zerstört worden, wie sich durch folgenden Versuch zeigen läßt.

Fig. 64.



Bringt man zwischen die freien Enden der Nebenspirale eine dünne Harzscheibe, so daß die beiden Drahtenden auf den entgegengesetzten Flächen einander gegenüberstehen, so zeigen sich nach der Entladung der Batterie durch den Hauptdraht die beiden Flächen der Harzscheibe auf das bestimmteste unterschieden. Es sind auf derselben eigenthümliche elektrische Figuren entstanden, zu deren Erkennung in den meisten Fällen ein leichtes Anhauchen der Fläche hinreicht. Will man die Figuren fixiren, so geschieht dies, wie es Lichtenberg gelehrt hat, durch Bepuderung derselben mit einem Gemenge von Schwefelblumen und Mennige. Auf der einen Fläche der Harzplatte entsteht hierdurch eine rothe Scheibe mit rother Kreiseinfassung, auf welcher ein dunkler (nicht bestäubter) Ring folgt, von welchem gelbe

Strahlen ausgehen. — Auf der anderen Fläche sind gelbe und rothe Kreissegmente sichtbar, die von einem breiten rothen Ring eingefaßt sind.

Fig. 65.



Fig. 66.

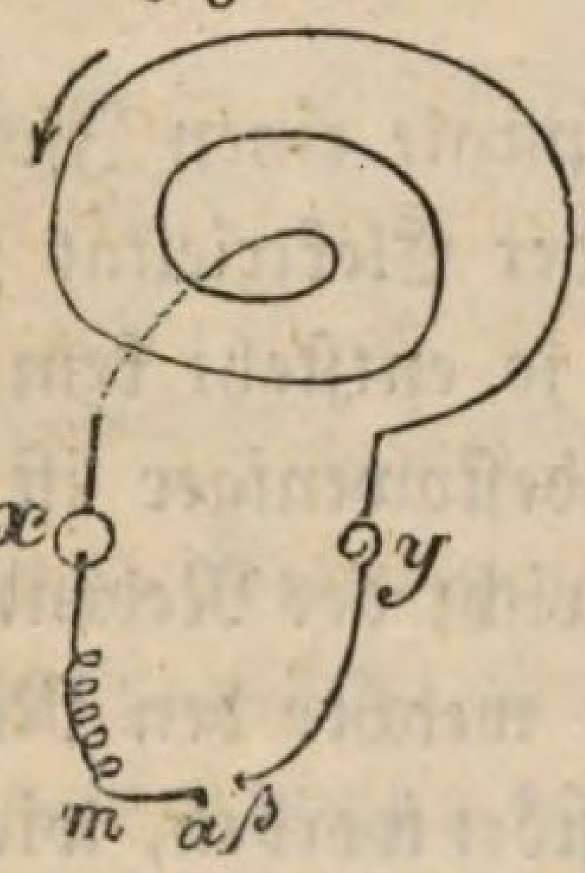


Die Strahlen und der Ring nehmen mit der Stärke der elektrischen Erregung zu; nur bei sehr schwacher Erregung fehlen die Strahlen der ersten Figur, und eine einfache rothe Scheibe bleibt übrig, die indeß hinlänglich von der zweiten Figur unterschieden ist, in welcher stets der rothe Ring erkennbar bleibt.

Jede dieser Figuren ist aus den beiden Grundformen zusammengesetzt, die Lichtenberg als positive und negative unterschieden hat, man kann deshalb aus diesen Figuren noch nicht auf die Richtung des Nebenstromes schließen.

Bei den folgenden Versuchen waren die Enden der Nebenspirale durch Kupferdrähte verlängert, von welchen der eine zum Theil eine kurze, eng rechtsgewundene Schraube bildete. In Fig. 67 mögen x und y die Enden der Nebenspirale bezeichnen, an welchen die erwähnten Drähte ansitzen. Sollte eine Stahlnadel magnetisirt werden, so wurden die Drahtenden α und β metallisch verbunden, und eine Stahlnadel in die Schraube bei m eingelegt; um die Figuren auf der Harzscheibe zu erhalten, wurden dieselben zwischen α und β eingeschaltet. Die in der folgenden Tabelle erhaltenen Resultate wurden mit der eben erwähnten kleinen (aus 13 Fuß Kupferdraht bestehenden) Haupt- und Nebenspirale angestellt.

Fig. 67.



In der Hauptspirale ging der Entladungsstrom in der durch den Pfeil bezeichneten Richtung durch. Die folgende Tabelle zeigt nun, was für eine magnetische Polarität das Nadelende zeigte, als die Nadel in der Drahtschraube lag, und nach m gekehrt war.

Zwischen beiden Spiralen war eine Glastafel eingeschaltet.

Entfernung der Spiralen	Hauptdraht	Elektricitätsmenge	Polarität bei m
1'''		5	N
1		10	N
1	verlängert	10	S
1		30	N
1	verlängert	30	S
25		30	N
25	verlängert	30	S
39,5		30	S

Man sieht, daß bei gleicher Richtung des Hauptstromes der Magnetismus der Nadel doch mit den übrigen Umständen wechselte, woraus man eben auf eine verschiedene Richtung des Nebenstromes schloß. Als aber zwischen α und β die Harzscheibe eingeschaltet wurde, ergab sich, wenn die Entladung der Batterie durch die Hauptspirale unter allen den in der Tabelle angegebenen Umständen wiederholt wurde, daß die Fig. 65 stets auf der dem Drahtende β zugekehrt gewesenen Seite der Harzscheibe sich bildete, ein Beweis, daß die Richtung des Nebenstromes stets dieselbe bleibt, wie auch der Magnetismus der Nadel sich umkehren mag.

Zur Erzeugung der Figuren wandte Rieß eine kleine Glas- oder Kupferplatte an, welche auf beiden Seiten mit einem dünnen Ueberzug von schwarzem Pech oder Harz versehen waren.

Eine schon gebrauchte Harzfläche muß über einer Weingeistflamme bis zum Schmelzen erhitzt werden, ehe sie wieder angewendet werden kann.

Die Richtung des Nebenstromes, welche, wie schon bemerkt, sich nicht unmittelbar aus den Figuren auf der Harztafel bestimmen läßt, wurde folgendermaßen ermittelt. Zwei dreizöllige Condensatoren wurden durch eine dünne Glimmerplatte getrennt; die unteren mit dem Drahtende α berührt, dem oberen aber das Drahtende β genähert, so daß hier bei Entladung der Batterie ein kleiner bläulicher Funken überspringt. Nachdem die Batterie durch die Hauptspirale entladen worden war, wurde die obere Platte abgehoben und am Elektrometer geprüft. Bei positiver Ladung der Batterie wurde die von dem Drahtende β berührt gewesene Condensatorplatte negativ elektrisch gefunden. Die Strahlenfigur, Fig. 65, ist also stets von der mit negativer Elektricität geladenen Spitze erzeugt, und demnach hat also der Nebenstrom stets gleiche Richtung mit dem Hauptstrom.

Die Versuche, welche Rieß machte, die Richtung des Nebenstromes durch Zersetzung von Jodkalium zu ermitteln, schlugen fehl; es gelang nicht, eine Zersetzung durch den Nebenstrom zu erhalten (P. A. 47. 74).

Ablenkung der Magnetnadel durch Reibungselektricität. Die 67
Windungen eines Multiplicators, welcher dazu dienen soll, durch einen Strom von Reibungselektricität eine Ablenkung der Magnetnadel hervorzubringen, müssen sehr gut isolirt seyn. Rieß (P. A. 40. 348) construirte einen solchen Multiplicator aus einem 105 Fuß langen, $\frac{1}{6}'''$ dicken Kupferdraht, welcher dreifach mit Seide übersponnen und in 260 Windungen, die 5 Lagen bildeten, auf einen passenden Rahmen aufgewunden war. Bevor eine Drahtstrecke aufgewunden wurde, wurde sie erst zweimal mit Schellackfirniß überstrichen und dann die Aufwickelung vorgenommen, bevor noch der Firniß ganz trocken war. Jede Lage wurde noch einmal im Ganzen gefirnißt.

Die zugehörigen cylindrischen, astatisch combinirten Magnetnadeln waren 22,5''' lang, 0,4 Linien dick und 5''' von einander entfernt. Die combinirten Nadeln brauchten 6,6 Secunden zu einer Oscillation.

Wird das eine Drahtende eines solchen Multiplicators mit dem Conductor, das andere mit dem Reibzeug der Elektrisirmaschine in leitende Verbindung gesetzt, so kann man beim Drehen derselben eine Ablenkung von 10 bis 20 Grad erhalten.

Wenn durch den Entladungsstrom der elektrischen Batterie die Nadel abgelenkt werden soll, so muß man bekanntlich die Entladung durch Einschaltung schlechter Leiter, feuchte Schnüre, mit Wasser gefüllte Glasröhren u. s. w. verzögern.

Die neuesten Versuche, welche Rieß über diesen Gegenstand anstellte (P. A. 67. 535), ergaben das Resultat, daß die Ablenkung einer Magnetnadel durch den Draht, welcher eine elektrische Batterie langsam entladet, von der Oberfläche der Batterie unabhängig ist, vorausgesetzt, daß eine vollständige Entladung derselben stattfindet; es ist also für die Ablenkung der Nadel gleichgültig, ob dieselbe Elektricitätsmenge auf eine oder mehrere Flaschen vertheilt ist.

Faraday hatte versucht (Experimentaluntersuchungen, 363. P. A. 29), den Entladungsstrom der Batterie mit dem eines Volta'schen Stromes zu vergleichen. Nachdem er durch eine Batterieentladung eine bestimmte Ablenkung der Magnetnadel erhalten hatte, construirte er ein Volta'sches Element, welches, $3^1/_5$ Secunden wirkend, dieselbe Ablenkung hervorbrachte, wie die Batterieentladung, und schloß, daß die von dem Element gelieferte Elektricitätsmenge der in der Batterie angehäuften gleich sey.

Rieß macht, und zwar mit Recht, darauf aufmerksam, daß dieser Schluß wenig gerechtfertigt ist, indem die momentane Wirkung des Entladungsstromes der Batterie auf die Nadel wesentlich von der eines galvanischen Stromes verschieden seyn muß.

Ich habe von den Rieß'schen Untersuchungen berichtet, ohne den Gang der Darstellung durch den Bericht über die Untersuchungen zu unterbrechen, welche Andere über denselben Gegenstand anstellten. Wenden wir uns jetzt zu diesen Arbeiten.

68 **Knochenhauer's Arbeiten über den Nebenstrom.** In einem zweiten Artikel, welcher ebenfalls die Ueberschrift: »Versuche über die gebundene Elektricität« führt (P. A. 58. 391), bespricht Knochenhauer das Gesetz, nach welchem die Stärke des Nebenstromes abnimmt, wenn die Entfernung des Hauptdrahtes wächst.

Rieß hat, wie bereits Seite 150 angeführt wurde, gezeigt, daß die Stärke des Nebenstromes in demselben Verhältniß abnimmt, in welchem die Axenentfernung des Nebendrahtes vom Hauptdraht wächst.

Knochenhauer meint, dies Gesetz sey »augenscheinlich unzureichend«. Wahrscheinlich von der Idee ausgehend, daß der Nebenstrom auch ein Phänomen der Bindung sey, sucht Knochenhauer sein auf Seite 45 bereits angeführtes Gesetz auch hier in Anwendung zu bringen.

Daß ein Gesetz, zwischen Wirkung und Entfernung, welches für den Fall kugelförmiger Körper paßt, bei denen man alle Wirkung als von einem Punkte ausgehend betrachten kann, nicht zugleich für parallel nebeneinander herlaufende Drähte gelten könne, hindert Hrn. Knochenhauer nicht daran. — Sein Gesetz hat eine so bewundernswürdige Elasticität, daß es durch bloße Veränderung der constanten Factoren auch für den Nebenstrom paßt; nach seiner Meinung besteht zwischen der Stärke des Nebenstromes (durch den Luftthermometer gemessen) und der Entfernung der Drähte ebenfalls die Beziehung

$$\Theta = A\,a^{\sqrt{n}},$$

wo Θ die Erwärmung des Thermometers im Nebendraht, n die Entfernung des Nebendrahtes vom Hauptdraht bezeichnet.

Dieses n ist aber nicht die Axenentfernung, sondern die Entfernung der Drähte im lichten, wobei er als Einheit 3''' annimmt, die Größe von n ist also aus den von Rieß gegebenen Axenentfernungen d erst zu berechnen.

Zunächst vergleicht er seine Formel mit den von Rieß gefundenen Resultaten. Die Resultate einer Beobachtungsreihe von Rieß stellt er in der folgenden Tabelle mit den nach seiner Formel berechneten Werthen zusammen.

d	Θ beobachtet.	d berechnet.	Differenz.
2,71'''	0,216	0,219	+ 0,003
6,78	0,145	0,143	— 0,002
11,24	0,119	0,104	— 0,015
16,01	0,081	0,079	— 0,002
19,61	0,066	0,066	0,000
23,87	0,054	0,055	+ 0,001

In der That stimmen die beobachteten und die nach obiger Formel berechneten Werthe ganz genügend, wenn man $A = 0{,}401$, $a = 0{,}4897$

setzt. Ja, die Formel stimmt auch noch für ganz geringe Entfernungen der Drähte, für welche aus begreiflichen Gründen das Rieß'sche Gesetz nicht mehr gelten kann.

Spricht aber nicht diese wirklich genügende Uebereinstimmung der Knochenhauer'schen Formel mit der Beobachtung für die Richtigkeit derselben? Gewiß nicht. Wenn man über zwei Constante zu disponiren hat, so lassen sich mit Leichtigkeit eine ganze Masse Formeln auffinden, die dasselbe leisten, d. h. die sich den wenigen und innerhalb so enger Grenzen beobachteten Zahlen ebenso eng anschließen. Als Beleg führe ich

$$\Theta = A + b \log. d,$$

die erste beste willkürliche Formel an, die mir in den Sinn kam; in dieser Formel sollen Θ die Erwärmung im Nebendraht, d die Axenentfernung der Drähte bezeichnen. Setzt man hier $A = 0{,}276$, $b = 0{,}16$, so schließt sich diese Formel den Rieß'schen Beobachtungen eben so gut an, wie den Knochenhauer'schen, wie man aus folgender Tabelle sieht, in der die dritte Vertikalreihe die nach der Formel $\Theta = A + b \log. d$ berechneten Werthe enthält.

d	d beobachtet.	d berechnet.	Differenz.
2,71'''	0,210	0,207	— 0,003
6,78	0,145	0,143	— 0,002
11,24	0,119	0,107	— 0,012
16,01	0,081	0,084	+ 0,003
19,61	0,066	0,069	+ 0,003
23,87	0,054	0,056	— 0,002

Trotz dieser Uebereinstimmung zwischen Beobachtung und Rechnung kann aber diese Formel gewiß eben so wenig wie die Knochenhauer'sche Anspruch darauf machen, das Gesetz auszudrücken, nach welchem die Stärke des Nebenstromes mit der Entfernung vom Hauptdraht abnimmt.

Knochenhauer hat selbst eine Reihe von Versuchen angestellt, welche seine Formel bestätigen sollen, und durch welche er zeigen will, daß die Größe des Factors a von der Leitungsfähigkeit der Hauptschließung, der Nebenschließung u. s. w. abhängt. Die Beschreibung der Art und Weise, wie die Versuche angeordnet, wie die Drähte gespannt waren u. s w., ist höchst undeutlich, und da ich die Unzulässigkeit der Knochenhauer'schen Formel nachgewiesen zu haben glaube, möchte wohl eine weitere Besprechung dieser Versuche unnöthig seyn.

Diese Abhandlung bildet den Uebergang zu weiteren Untersuchungen, die sich mit dem Nebenstrom und dem Strom in verzweigten Schließungsbogen beschäftigen. Folgendes sind die Titel der hierhergehörigen Abhandlungen:

Ueber den Nebenstrom im getheilten Schließungsdrahte der Batterie. P. A. 60—70 u. 235.

Ueber die elektrischen Ströme im getheilten Schließungsdrahte der Batterie. P. A. 61. 55.

Ueber die Schwächung des Hauptstromes bei getheiltem Schließungsdrahte der Batterie. P. A. 62. 353.

Ueber den Zusammenhang der Formeln, welche die Wärmeentwickelung durch den elektrischen und den galvanischen Strom bestimmen. P. A. 62. 207.

Versuche über den elektrischen Nebenstrom. P. A. 64. 64 und P. A. LXVI. 235.

Bestimmung der compensirten Drahtlängen ohne Luftthermometer. P. A. LXVII. 327.

Lösung des kürzlich über die Verzweigung galvanischer Ströme aufgestellten Problems für den Entladungsstrom der elektrischen Batterie. P. A. LXVIII. 136.

Ueber die Spannungsverhältnisse beim Ladungsstrom der elektrischen Batterie. P. A. LXIX. 77.

Ueber den Vergleich der elektrischen Formeln mit den galvanischen. P. A. LXIX. 421.

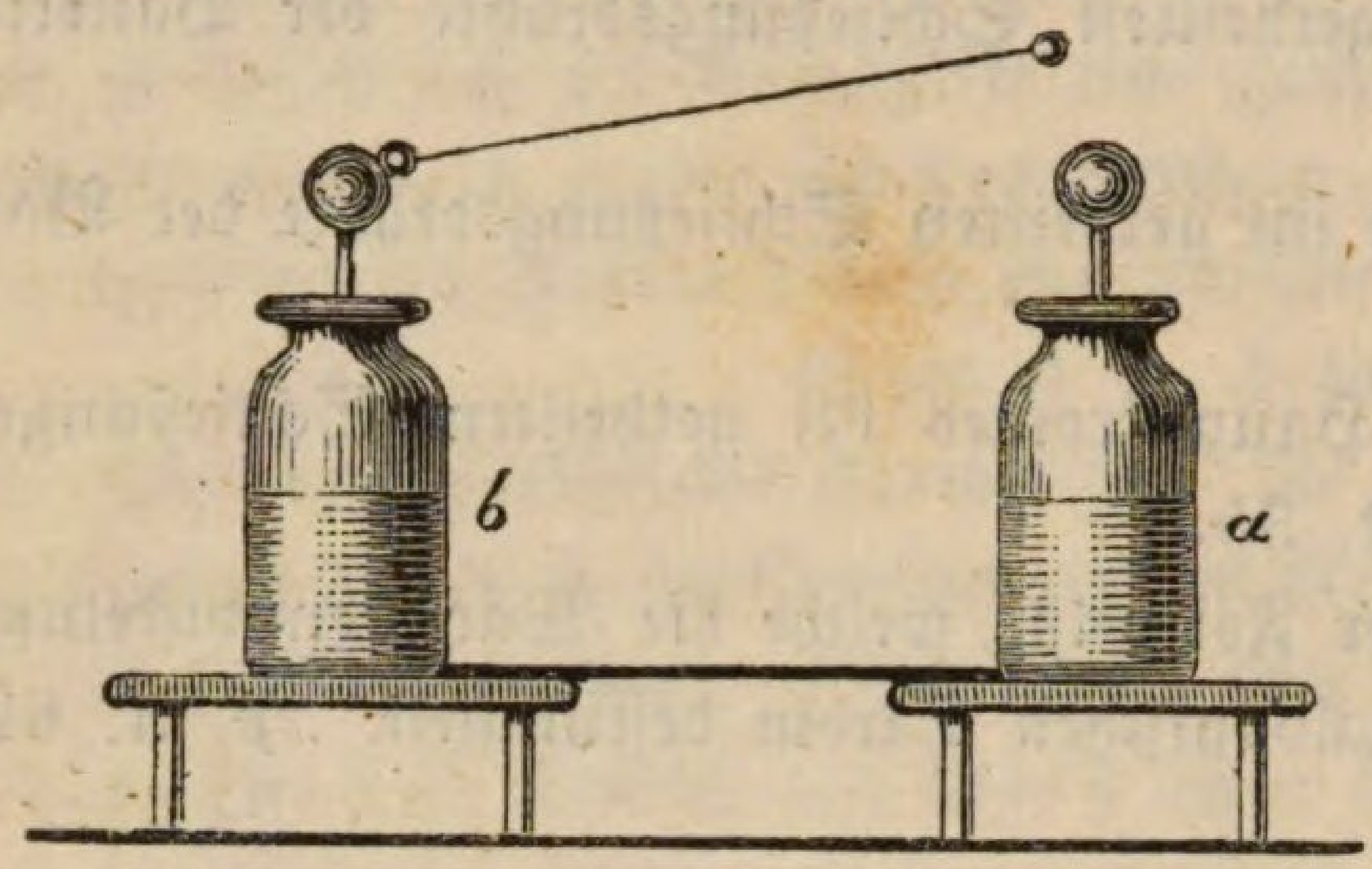
Die in diesen Abhandlungen besprochenen Versuche sind schlecht beschrieben; die Betrachtungen, schwülstig, verworren und voll schwerfälliger Formeln, führen nicht zu einfach klar und bestimmt hingestellten Resultaten.

Sollte in dem Chaos der erwähnten Abhandlungen wirklich ein entwickelungsfähiger Kern enthalten seyn, so wird sich Herr Knochenhauer wohl entschließen müssen, ihn seiner nebelhaften Umgebung zu entrücken und besser ins Licht zu setzen, wenn er demselben Anerkennung verschaffen will.

Da es der Zweck dieses Berichtes ist, dem Leser die Fortschritte der Physik darzulegen, nicht aber ihn mit der Kritik unfruchtbarer Arbeiten zu belästigen, so glaube ich die Abhandlungen Knochenhauers über den Nebenstrom und verwandte Gegenstände nicht weiter besprechen zu müssen. Die Kritik der oben näher besprochenen Abhandlungen wird genügen, mich in dieser Beziehung zu rechtfertigen.

69 **Ladungsstrom der elektrischen Batterie.** In Fig. 68 stellen *a* und *b* zwei elektrische Batterien dar, welche beide isolirt sind. Die äußeren Belegungen beider Batterien seyen in metallischer Verbindung, *a* sey geladen, *b* sey ungeladen.

Fig. 68.



Wenn nun irgend ein passender Auslader, welcher dem Knopfe der ungeladenen Flasche *b* anliegt, dem Knopfe der geladenen Flasche genähert wird, so wird ein Funken überspringen, die Flasche *a* wird theilweise entladen, ein Theil der (wie wir annehmen wollen, positiven) Elektricität, welche auf der inneren Belegung von *a* angehäuft war, strömt unter Funkenbildung auf die innere Belegung von *b* über, während durch die leitende Verbindung der äußeren Belegungen eine entsprechende Menge negativer Elektricität ohne Funkenbildung von *a* nach *b* überströmt.

Auf diese Weise nun wird *a* theilweise entladen, *b* dagegen geladen; die Ladung von *b* ist nicht wie bei gewöhnlicher Flaschenladung eine allmälige, sondern eine sehr rasche. Dove nennt nun den Strom, welcher von der äußeren Belegung von *a* zur äußeren Belegung von *b* überströmend, letztere Batterie ladet, den Ladungsstrom, und hat die Wirkungen dieses Ladungsstromes mit den Wirkungen des schon mehrfach untersuchten Entladungsstromes (Entladungsschlages) verglichen. Er fand folgende Resultate (P. A. LXIV. 81).

1) Induction. In den äußeren Verbindungsdraht wurde eine cylindrische Inductionsspirale eingeschaltet, welche äußerlich von einer Nebenspirale umgeben war. Die Wirkungen waren dieselben, wie beim Entladungsschlag.

2) Funken. Unterbricht man den äußeren Verbindungsdraht, so entsteht in dem Moment, in welchem der Funke am inneren Verbindungsdraht überspringt, an der Unterbrechungsstelle des äußeren ein weißglänzender schallender Funke. Schaltet man in den inneren Verbindungsdraht einen nassen Faden ein, so nimmt der Funke hier eine rothgelbe Farbe an und tönt schwach; dieselbe Veränderung zeigt sich dann auch an der Unterbrechungsstelle des äußeren Verbindungsdrahtes, in welchem kein nasser Faden eingeschaltet ist.

Dove fand ferner, daß der Ladungsstrom

3) galvanometrische Wirkungen,

4) Magnetisiren des Stahls,

5) physiologische Wirkungen,

6) Durchbohren schlechter Leiter,

7) Erwärmung

in derselben Weise hervorbringt, wie den Entladungsstrom.

Die Nadel eines Galvanometers, welches in den Verbindungsdraht der äußeren Belegungen eingeschaltet ist, wird nicht afficirt, wenn die inneren Belegungen ohne eingeschalteten nassen Faden durch einen weißen schallenden Funken in metallische Verbindung treten, hingegen sehr deutlich, wenn in den Verbindungsdraht der inneren Belegungen ein nasser Faden eingeschaltet ist. Das Magnetisiren einer in einer Spirale enthaltenen Stahlnadel erfolgt im ersteren Falle (ohne Einschaltung) kräftig, im zweiten Falle (mit Einschaltung) sehr schwach.

Den Inhalt eines von Dove verfaßten Aufsatzes in Poggendorff's Annalen (LIV. 305), welcher den Titel führt: »Ueber die durch Magnetisiren des Eisens vermittelst Reibungselektricität inducirten Ströme,« kann erst später berichtet werden, weil dieser Gegenstand in zu inniger Beziehung mit später zu besprechenden Wirkungen des galvanischen Stromes steht.

Hankel's Untersuchungen über die Magnetisirung von Stahl- 70
nadeln durch den Entladungsfunken einer elektrischen Batterie. Hankel hat zwei große Abhandlungen über diesen Gegenstand publicirt (P. A. LXV. 537., LXIX. 321). In der ersten bespricht er zunächst die Beobachtungen Savary's, und geht dann zur Beschreibung seiner eigenen Versuche über, aus denen sich folgende Resultate ergeben.

1) Wenn der Entladungsschlag durch eine Spirale geht, in welcher eine Stahlnadel liegt, so ist ein bestimmtes Minimum der Ladung nöthig, um überhaupt die Nadel zu magnetisiren; nennen wir die Polarität, welche sie durch den Entladungsschlag dieses Minimums annimmt, die normale, so wird bei allmälig verstärkten Entladungsschlägen die Nadel anomal magnetisch, bei noch stärkerer Ladung wieder normal u. s. w. — Die anomale Magnetisirung tritt nun erst bei um so stärkeren Ladungen der Batterie auf, je längere Drahtstücke man in den Schließungsbogen der Batterie einschaltet.

Als außer der Spirale selbst und den bei allen Versuchen gleichbleibenden Stücken des Schließungsbogens 34′ Eisendraht von 0,1 Linien Dicke eingeschaltet war, ergab sich die anomale Magnetisirung bei einer Ladung 70 (gemessen durch Funken der Maßflasche), bei einer Einschaltung von 82 Fuß desselben Drahtes, bedurfte es dazu einer Ladung 120, bei einer Einschaltung von 154′ einer Ladung 160.

2) Wenn bei gleichem Schließungsbogen einmal eine Batterie von mehr,

und dann eine von weniger Flaschen angewendet wird, so bringt die Batterie von geringerer Flaschenzahl die anomale Periode schon bei geringerer Ladung hervor.

Als 202 Fuß Eisendraht in den Schließungsbogen eingeschaltet waren, brachte schon eine Ladung 20 auf zwei Flaschen eine anomale Magnetisirung hervor, während man sie bei Anwendung von 5 Flaschen erst bei einer Ladung 70 erhielt, und bei Anwendung von 9 Flaschen selbst die Elektricitätsmenge 230 noch keine anomale Magnetisirung erzeugte.

Wenn man bei allmälig wachsenden Ladungen auch nicht immer die Abwechselungen zwischen normaler und anomaler Magnetisirung erhält, so fehlen deshalb diese Perioden nicht ganz, denn man beobachtet eine Zu- und Abnahme in der Stärke des normalen Magnetismus und die Minima der normalen Magnetisirung entsprechen hier den anomalen Perioden.

Hankel wendet sich nun zur Erklärung dieser Erscheinung, wobei er folgende Idee zu Grunde legt.

»Es ist durch Faraday's Versuche bekannt, daß ein Strom bei seiner »Entstehung in einem nahe gelegenen Leiter einen Strom erregt, welcher »ihm entgegengesetzt ist, beim Verschwinden dagegen einen zweiten, welcher »dem ursprünglichen gleichlaufend ist. Beide Wirkungen muß auch der »elektrische Funken auf eine in seiner Nähe befindliche Stahlnadel aus»üben. Da die Nadel senkrecht gegen seine Richtung liegt, so sind die »Ebenen der in der Nadel erregten Ströme ebenfalls senkrecht auf die »Länge der Nadel, und die Magnetisirung der Nadel wird gerade die ent»gegengesetzte seyn, je nachdem wir sie durch die Wirkung des Anfangens, »oder blos des Aufhörens des Funkens uns erzeugt denken. Nun folgen »aber die beiden Momente des Anfangs und des Endes beim elektrischen »Funken so schnell auf einander, daß ihre Wirkungen gesondert nicht ge»messen werden können; es ist also die Magnetisirung das Resultat dieser »beiden Einflüsse«.

Es ist dies im wesentlichen die Grundidee, auf welche auch Wrede (Berzelius Jahresbericht, deutsch von Wöhler, 20ster Jahrgang, S. 119.), die abwechselnd normale und anomale Magnetisiruug von Stahlnadeln durch den Entladungsschlag, sowohl im Haupt-, als auch in einem Nebendraht zurückzuführen versucht hat.

Wie schon Rieß andeutet (Dove's Repertorium VI. 218) gehört dieses Erklärungsprinzip vor der Hand doch nur noch in das Gebiet der Vermuthungen. Es ist möglich, daß dies der naturgemäße Hergang der Magnetisirung von Stahlnadeln durch den Entladungsschlag sey, aber keineswegs bewiesen.

Im ganzen klingt dies Erklärungsprinzip wohl ganz plausibel, allein

die Ableitung der Einzelnheiten der Erscheinung ist keineswegs überzeugend, so weitläufig sich auch Hankel darüber ausspricht. Man wird diesen Gegenstand doch wohl noch als eine offen stehende Frage zu betrachten haben, und es wird deshalb wohl gerechtfertigt erscheinen, wenn wir uns nicht länger dabei aufhalten.

Rieß spricht sich an der angeführten Stelle von Dove's Repertorium dahin aus, daß es besser und für die Wissenschaft förderlicher sey, die Mangelhaftigkeit unserer Kenntnisse offen einzugestehen, als sich mit halben Erklärungen zu behelfen und ihre Mängel zu bemänteln, und citirt hierbei eine Stelle aus Franklin's Briefen, welche jeden Naturforscher wohl beherzigen sollte; sie heißt

»I find, a frank aknowledgment of one's ignorance is not only the easiest way to get rid of a difficulty, but the likeliest way to obtain information; I think it a honest policy«.

In der zweiten Abhandlung bespricht Hankel folgende Punkte.

1) Die Anzahl und Größe der schon in der ersten Abhandlung erwähnten Magnetisirungsperiode.

2) Die Einwirkung verschiedener Spiralen.

3) Die Einwirkung des Schließungsdrahtes auf sich selbst.

4) Den Einfluß der Dicke der Nadeln.

5) Den Einfluß der Oberfläche der Batterie.

6) Die Aenderungen der Wechsel durch eingeschaltete Widerstände.

7) Einen besonderen, von der Leitungsfähigkeit gänzlich verschiedenen Einfluß einzelner Metalle.

Betrachten wir diese Punkte einzeln der Reihe nach.

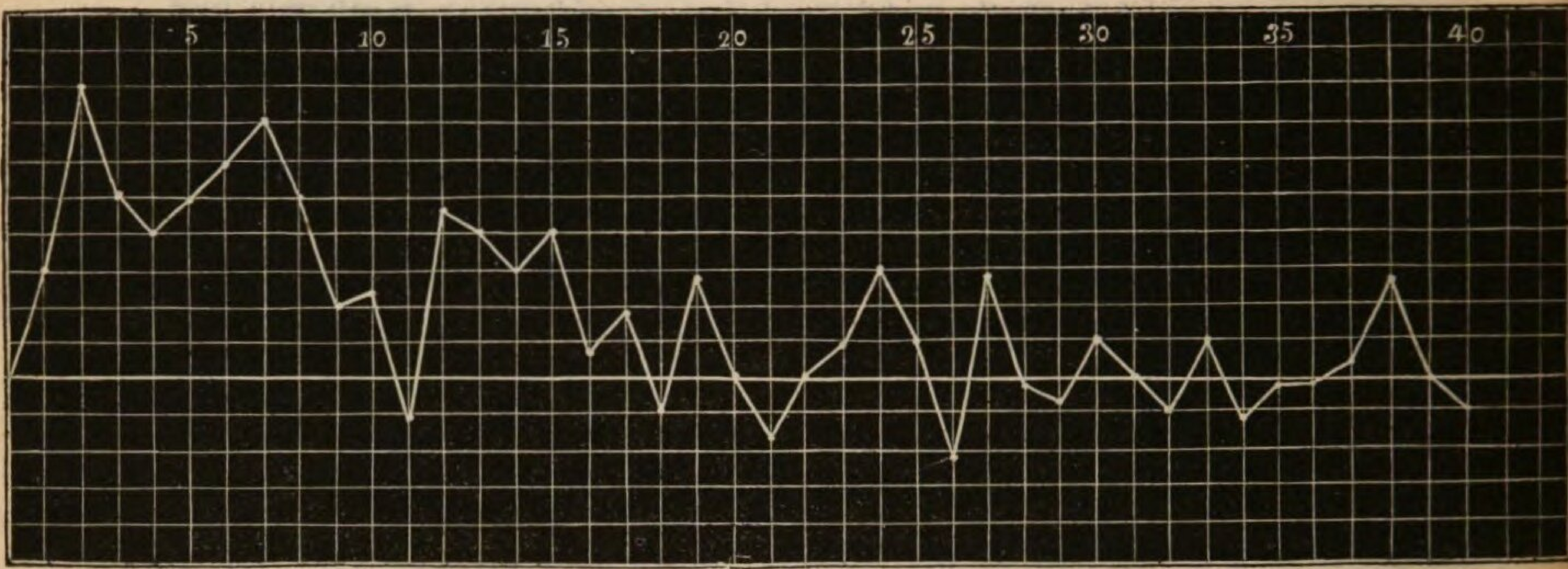
1) Als Magnetisirungsspirale wirkte eine Silberdrahtspirale von so engen Windungen, daß die eingeschobene Nadel 31 Windungen bedeckte. Die Ladung der Batterie wurde immer um 1 Funken der Maßflasche vermehrt, und durch die Entladung derselben immer eine neue Nadel magnetisirt; die Stärke des ihr durch den Entladungsschlag mitgetheilten Magnetismus wurde alsdann die Zeit ermittelt, welche die Nadel brauchte, um eine bestimmte Anzahl Schwingungen zu machen. Außer der Spirale befand sich noch 2,63 Meter eines 1,2966^{mm} dicken Kupferdrahtes in den Schließungsbogen.

Hankel machte auf diese Weise eine Versuchsreihe, deren Resultate in Fig. 69 (a. f. S.) graphisch dargestellt sind. Die Abscissen sind der Stärke der Batterieladung, die Ordinaten der Stärke der entsprechenden Magnetisirung proportional. Die Ordinaten über den Horizontalen 0 entsprechen normaler, die nach unten gerichteten Ordinaten anomaler Magnetisirung

Diese Kurve macht nun keineswegs den Eindruck einiger Regelmäßigkeit,

vielmehr scheint ein etwaiges Gesetz sehr durch Zufälligkeiten, deren man nicht Rechnung zu tragen im Stande ist, maskirt zu seyn. In solchen

Fig. 69.



Fällen aber läßt sich das Gesetz nur durch Mittelzahlen darstellen, die aus zahlreichen Versuchen abgeleitet sind.

Hankel sagt nun, er habe bei dieser kürzesten Drahteinschaltung wiederholte Versuche angestellt, um die Lage der anomalen oder der gleich bedeutenden schwach normalen Perioden zu bestimmen und aus allen diesen Versuchen das Resultat gewonnen, daß dieselben für dieselbe Nadelsorte, für die von ihm gebrauchte Batterie von 9 Flaschen sich bei den folgenden Ladungen finden.

3. 6. 9. 11. 14. 16. 18. 21. 23. 26.
29. 32. 36. 40.

Wenn nun Hankel sagt, »man sieht, daß dieser Wechsel in der Polarität regelmäßig wiederkehre«, so muß ich gestehen, daß ich in dieser Zahlenreihe wenigstens die Regelmäßigkeit eben noch nicht sehr rein ausgesprochen finde. Er sagt zwar weiter: diese Regelmäßigkeit hätte sich durch Einführung von Bruchwerthen noch schärfer darlegen lassen, allein er habe dieselbe absichtlich vermieden, da er sie nicht genau messen, sondern nur hätte abschätzen können.

Was soll das aber heißen; ist denn die oben erwähnte Zahlenreihe nicht das Mittel aus mehreren unter denselben Bedingungen angestellten Versuchsreihen? Wenn aber dies der Fall ist, warum Anstand nehmen Bruchtheile einzuführen. Mittelwerthe sind ja überhaupt nur berechnete, nicht beobachtete.

Um den Leser es möglich zu machen, sich ein Urtheil über den Werth der Resultate zu bilden, hätte Hankel jedenfalls mittheilen sollen, wie er zu der Zahlenreihe 3, 6, 9, 11 u. s. w. gekommen ist, er hätte die einzelnen Versuchsreihen mittheilen müssen, damit man beurtheilen könne,

wie weit sich die einzelnen Versuchsreihen durch zufällige Störungen vom Mittel entfernen.

2. Die oben, Figur 69, graphisch dargestellte Versuchsreihe wurde nun mit zwei anderen verglichen, bei denen nur die Spirale in der Weise in die Länge gezogen war, daß die Länge der Nadel bei der zweiten nur 28, bei der dritten nur $11\frac{1}{2}$ Windungen bedeckte. Es ergab sich im Allgemeinen, daß sich die Perioden in dem Maaße verlängern, als die Nadel weniger Windungen bedeckt.

3. Wie wir oben gesehen haben, hat Rieß den Satz aufgestellt, daß bei der Entladung der Batterie kein Theil des Schließungsdrahtes vertheilend auf den andern wirkt. — Hankel bestreitet diesen Satz. Er schließt das Gegentheil aus folgenden Versuchen.

Eine Kupferspirale von etwas großem Durchmesser war von einer ähnlichen Spirale umgeben, und man konnte die beiden Spiralen nach Belieben so verbinden, daß der Entladungsschlag beide nach gleicher oder nach entgegengesetzter Richtung durchlaufen mußte *). Außer dieser Spirale war noch eine Magnetisirungsspirale in den Schließungsbogen der Batterie eingeschaltet. Vergleicht man nun den Gang der Magnetisirungsperiode für die beiden Verbindungsarten der Spiralen miteinander, so stimmen sie nicht überein, und daraus schließt Hankel, daß allerdings eine Einwirkung der Wirkungen auf einander stattfände.

Wenn man auch zugiebt, daß die Rieß'schen Versuche noch nicht genügen, den von ihm aufgestellten Satz zu begründen, so sind doch die Hankel'schen noch weniger geeignet, ihn umzustoßen, denn das gesetzmäßige in den Magnetisirungserscheinungen durch den Entladungsschlag, der Einfluß der Zufälligkeiten, ist durchaus noch nicht genügend nachgewiesen, um aus der Nichtcoincidenz zweier solcher Versuchsreihen einen sichern Schluß ziehen zu können.

Die Verschiedenheiten, welche sich in der Magnetisirung von Stahlnadeln ergeben, je nachdem ein langes Drahtstück entweder geradlinig ausgespannt, oder spiralförmig aufgewunden in den Schließungsbogen eingeschaltet ist, wollen wir später unter Nro. 6 näher betrachten.

4. Im Allgemeinen scheinen, wie Hankel aus seinen Versuchen schließt, bei dickeren Nadeln die Erscheinungen nicht geändert zu werden, nur treten die anomalen Perioden erst bei stärkeren Ladungen ein, und scheinen auch an Stärke verloren zu haben.

5. Neue Versuche über den Einfluß der Oberfläche der Batterie erga-

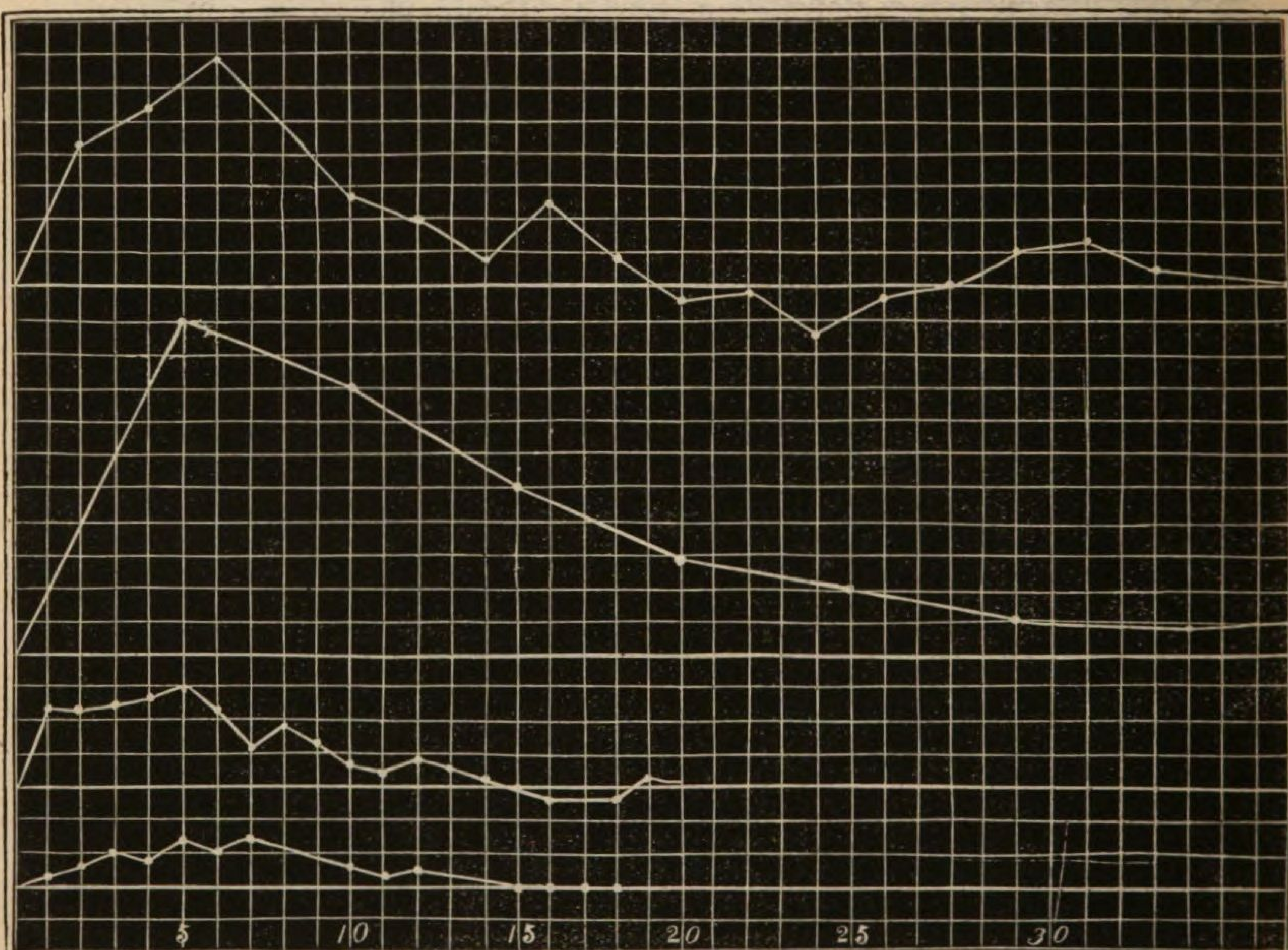
---

*) Hankel giebt die Drahtdicke bis auf Hunderttausentel Millimeter genau an; mir scheint dies für die übrigen Verhältnisse dieser Versuchsreihen ziemlich unnöthige Genauigkeit.

ben, übereinstimmend mit den früheren Versuchen, daß eine Verkleinerung der Batterieoberfläche die anomalen Perioden auf immer kleinere Ladungen zurückführt, aber dieselben zugleich so verkürzt, daß sie bei einer gewissen Größe der Batterie aufhören als anomale Magnetisirungen zu erscheinen; man beobachtet alsdann nur noch starke und schwache normale Perioden.

6. Außer der kürzesten Einschaltung, mit welcher die in Fig. 69 dargestellten Resultate erhalten wurden, machte Hankel noch Versuchsreihen nach Hinzufügung von geradlinig ausgespannten 0,23^{mm} dicken Kupferdrähten, deren Länge zwischen 0,375 und 96,4 Meter Länge geändert wurde. Die Kurven 1 und 2, Fig. 70, stellen die Resultate dar, welche er für Einschaltungen von 12 und von 96,4 Meter Länge erhielt. Diese Kurven scheinen anzudeuten, daß bei längeren Einschaltungen die einzelnen kleineren Perioden mehr verschmelzen, bis endlich nur eine große normale Periode mit starker Magnetisirung beobachtet wird, auf

Fig. 70.



welche eine sehr breite negative Periode (von 30 bis 100) folgt, in der jedoch nur noch eine sehr schwache Magnetisirung beobachtet wird.

In Beziehung auf das Verschwinden der kleineren Perioden erlauben aber, meiner Ansicht nach, diese Versuche doch keinen sichern Schluß, weil

die Ladung der Batterie bei den längeren Einschaltungen immer von 5 zu 5, bei den mittleren von 2 zu 2 vermehrt wurde, während sie bei der kürzesten Einschaltung nur immer um 1 wuchs. Wo liegt eine Garantie, daß bei den längeren Drahtwindungen nicht einzelne Perioden übersprungen wurden. Hankel übergeht diesen Punkt mit Stillschweigen.

Was den Einfluß der Windungen betrifft, vergleicht Hankel das Resultat, welches Fig. 70 durch die zweite Kurve dargestellt ist, mit denjenigen, welche 103 Meter desselben Drahtes zu 70 Spiralwindungen aufgewunden geben. Während beim geraden Drahte eine normale Periode bis 30 geht, und auf diese eine große schwache negative folgt, beobachtete er bei den aufgewundenen noch 3 normale und 3 anomale Perioden.

Als 26 Meter eines sehr dicken (30,76 Quadratmillimeter Querschnitt) viereckigen Kupferdrahtes eingeschaltet wurden, zeigte sich in der Lage der Perioden keine Veränderung, nur waren sie im allgemeinen schwächer geworden. Als außerdem noch 113 Meter eines runden 1,3^{mm} dicken Drahtes geradlinig ausgespannt, eingeschaltet wurden, ergaben sich die Fig. 70 in der dritten Kurve dargestellten Resultate. Es verschwanden fast alle Umkehrungen, die Nadeln zeigten sich nur schwach magnetisch.

Als 94 Meter des dicken Drahtes spiralförmig aufgewunden in den Schließungsbogen eingeschaltet wurden, ergaben sich die in der 4ten Kurve der Fig. 70 dargestellten Resultate. Die Schwächungen der Magnetisirung zeigen sich hier bei dem dicken spiralförmig aufgewundenen Drahte noch auffallender als bei dem dicken gerade ausgespannten.

Anscheinend ist der Einfluß der Windungen bei dem dicken und dünnen Kupferdraht ein sehr verschiedener; dessen ungeachtet, sagt Hankel (Seite 336 seiner 2ten Abhandlung), ist aber der Einfluß in beiden Fällen derselbe. Die Betrachtungen, durch welche er dies nachzuweisen versucht, sind mir unverständlich; überhaupt kann ich Hankels Raisonnements keineswegs klar und präcis nennen.

7. Auffallende Erscheinungen zeigte die Einschaltung von Eisendrähten, welche anomale Perioden von sehr bedeutender Stärke hervorbringen. Besonders auffallend fand dies Hankel bei dicken langen Eisendrähten. Während ein dicker Kupferdraht die Magnetisirungen ausnehmend schwächt, so werden sie durch einen dicken Eisendraht bedeutend verstärkt. Bei Einschaltung eines 1,27^{mm} dicken, 131 Meter langen Eisendrahtes ergab sich z. B. für die Ladung 6 ein normales Maximum 11, für die Ladung 36 eine anomale Magnetisirung von der Stärke $9\frac{1}{2}$, wenn man die Magnetisirungsstärke nach der Einheit mißt, welche bei der Construction der oben mitgetheilten Kurven zu Grunde gelegt wurde.

Leidner Flaschen von dickem Glase. Winter in Wien verfertigt Leidner Flaschen, welche eine viel bedeutendere Schlagweite haben, als 71

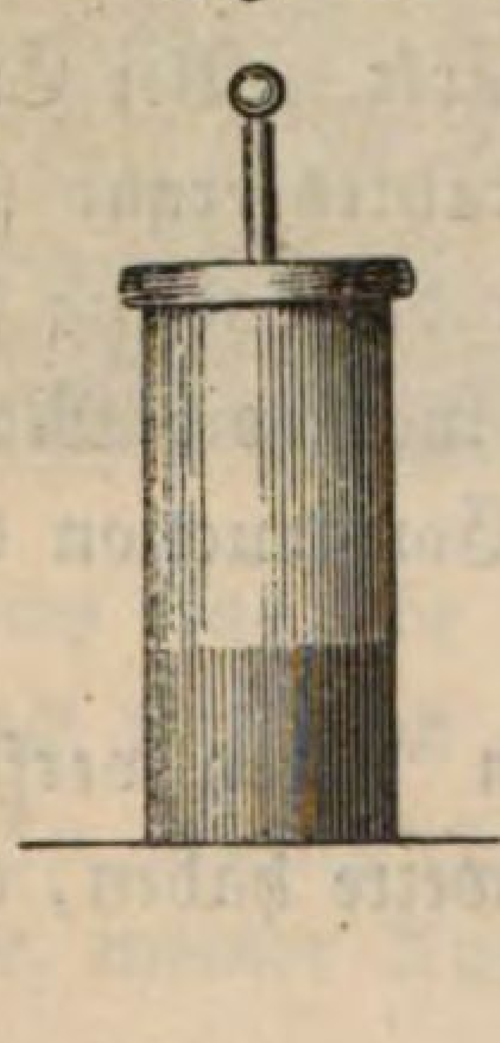
gewöhnlich, und er erreicht dies dadurch, daß er Gefäße mit sehr dicken (über 1 Linie dicken) Glaswänden zur Construction dieser Flaschen benutzt, und daß der unbelegte Rand sehr groß ist.

Durch die Größe des unbelegten Randes wird die Selbstentladung, durch die Dicke des Glases die Durchbrechung desselben möglichst verhindert; bei einer solchen Flasche kann also die Spannung der freien Elektricität auf die innere Belegung eine weit stärkere Spannung erreichen, als bei gewöhnlichen dünnglasigen Flaschen, bei welchen, wenn nicht eine Selbstentladung erfolgt, ein Durchschlagen des Glases zu befürchten ist.

Wegen der größeren Dicke des Glases ist die gegenseitige Bindung der entgegengesetzten Elektricitäten beider Belegungen weniger vollständig, als bei dünnerem Glase; bei gleicher Größe der Belegungen und bei gleicher Dichtigkeit der freien Elektricität auf der inneren Belegung wird also in der dickglasigen Flasche weniger Elektricität angehäuft seyn, als auf der dünnglasigen; im Allgemeinen ist also die Menge der Elektricität, welche eine dickglasige Flasche aufnehmen kann, geringer, aber die Spannung der freien Elektricität auf der inneren Belegung und in Folge dessen auch die Schlagweite größer.

Es läßt sich erwarten, daß mit der größeren Schlagweite auch andere Wirkungen des Entladungsschlages eine Veränderung erleiden werden. Alle Wirkungen des Entladungsschlages, bei denen es vorzugsweise darauf ankommt, daß eine große Menge von Elektricität durch einen Körper hindurchgeführt wird, können besser mit größeren dünnglasigen Flaschen hervorgebracht werden, wo es aber gleichsam mehr auf die Stärke des Stoßes ankommt, da wendet man besser dickglasige Flaschen an; es schien mir demnach wahrscheinlich, daß die Durchbohrung von Glasplatten mit dickglasigen Flaschen weit leichter gelingen müsse, als mit gewöhnlichen dünnglasigen. — Der Erfolg bestätigte meine Erwartung vollkommen. Während mir früher mit dünnglasigen großen Flaschen dieser Versuch nicht immer mit Sicherheit gelang und stets eine sehr große Anzahl von Umdrehungen der Maschine nöthig waren, um die Batterie zum Durchschlagen des Glases hinlänglich zu laden, gelingt er mir jetzt jedesmal mit einer dickglasigen Flasche, die mit 20 Umdrehungen einer sehr mittelmäßigen Elektrisirmaschine geladen ist.

Fig. 71.



Die Glasdicke dieser Flasche, Fig. 71, beträgt ungefähr 1 Linie; jede Belegung hat ungefähr 9 Quadratdecimeter Oberfläche und der unbelegte Rand hat eine Höhe von 22 Centimeter.

Ich habe den Einfluß der Glasdicke auf die Wirkungen des Entladungsschlages nicht näher studirt, und theile diese Notizen nur mit, um die Aufmerksamkeit

anderer Physiker auf diesen Punkt zu richten. Es wäre sehr zu wünschen, daß Rieß diesen Gegenstand aufgriffe, da er bereits auf diesem Felde mit so allgemein anerkanntem Erfolge gearbeitet hat.

Elektrische Zeichnungen. Durch Elektricität kann man auf der 72
Oberfläche verschiedener Körper Figuren hervorbringen, welche entweder schon direct sichtbar sind, oder welche durch Bestäuben oder Anhauchen erst sichtbar werden. Ueber diese Erscheinungen, von denen die Lichtenbergischen Figuren die bekanntesten sind, hat Rieß eine ausgedehnte Versuchsreihe angestellt (P. A. 69. 1) und die Umstände sehr genau ermittelt, unter welchen diese Figuren und Bilder entstehen.

Rieß theilt sie ein in primär elektrische Zeichnungen, welche dadurch entstehen, daß verschiedene Stellen der Oberfläche schlecht leitender Substanzen in ungleich elektrischen Zustand versetzt werden, welche dann durch Bestäubung sichtbar gemacht wird, und

Secundär elektrische Zeichnungen, welche erzeugt werden, wenn durch elektrische Entladung diejenige fremde Schicht, die in der Regel alle Körper überzieht, verändert wird; in diesem Falle erscheinen die Zeichnungen durch Behauchung der Platte, oder es entstehen unmittelbar sichtbare Zeichnungen, wenn die Oberfläche der Körper selbst irgendwie angegriffen wird.

Betrachten wir zuerst die durch Bepulverung sichtbar werdenden elektrischen Zeichnungen.

Staubfiguren. Um die Lichtenbergischen Figuren zu erzeugen, 73
wandte Rieß quadratische Kupferbleche an, die entweder nur auf der einen oder auch auf beiden Seiten etwa $1/2$ Linie dick mit schwarzem Pech überzogen waren.

Die Bildung der Staubfiguren (Lichtenbergische Figuren) ist eine Folge der elektroscopischen Wirkung der elektrischen Stellen der Harzflächen auf das durch das Beuteln gleichfalls elektrische Pulver. Am zweckmäßigsten wendet man ein Gemenge von Schwefelblumen und Mennige an. Positiv elektrische Stellen der Platte bedecken sich mit Schwefelblumen, sie erscheinen also gelb; die Mennige sammelt sich dagegen auf den negativ elektrischen Stellen der Platte, welche also roth erscheinen.

Wenn der Funken auf die Pechfläche übergegangen ist, so daß eine Staubfigur erschienen wäre, wenn man sie sogleich bestäubt hätte, bildete sich keine Figur, wenn die Pechfläche erst eine Secunde lang über eine Weingeistflamme hinführte, wodurch die Elektricität von der Pechfläche weggenommen wird.

Die einfachste Art, die Staubfiguren darzustellen, wie sie auch Rieß anwandte, ist folgende: Eine nur auf einer Seite mit Pech überzogene Kupferplatte wird durch einen Draht ableitend berührt und auf die Pech-

fläche einer isolirten Metallspitze aufgesetzt. Berührt man das obere Ende derselben mit dem Knopf einer positiv geladenen Flasche, entfernt man alsdann isolirt die Spitze, so erscheint beim Bepulvern mit der genannten Mischung eine gelbe runde Sonne mit dichten Strahlen.

Wird der Versuch in derselben Weise mit einer negativ geladenen Flasche angestellt, so entsteht eine kreisrunde volle rothe Scheibe.

Diese Verschiedenheit im Ansehn der Figuren ist bekannt. Rieß hat aber noch auf einen andern merkwürdigen Unterschied aufmerksam gemacht, darauf nämlich, daß die positive Figur weit größer ist, als die negative, wenn gleich starke Ladungen angewandt werden.

Bei einer bestimmten positiven Ladung der Flasche ergab sich (als Mittel aus drei Versuchen) 16,1 Millimeter als Durchmesser der gelben Sonne.

Bei gleich starker negativer Ladung ergab sich (ebenfalls als Mittel aus drei Versuchen) 5,8 als Durchmesser der rothen Scheibe.

Die Durchmesser der negativen und positiven Figuren, wenn sie durch gleich starke Ladung der Flasche erzeugt werden, verhalten sich demnach wie 1 zu 2,77 oder die von ihnen eingenommenen Flächenräume wie 1 zu 7,67.

Bringt man zwischen die isolirte Spitze und den ableitenden Draht eine auf beiden Seiten mit Pech überzogene Platte, bei Wiederholung des oben angegebenen Verfahrens, so entsteht auf der einen Seite die positive, auf der andern die negative Figur.

Als die Flasche mit negativer Electricität geladen war, entstand natürlich oben die Scheibe, unten die Sonne, die gelbe Sonne war aber jetzt nur noch 2,2 mal so groß, als die rothe Scheibe.

Der Grund davon, daß hier die negative Figur verhältnißmäßig größer ausfiel, als bei dem vorigen Versuch, liegt in dem Ueberschuß negativer Electricität, welche auf die obere Fläche übergegangen war; in der That entsteht auf der oberen Seite eine Sonne, welche 3,3 mal so groß war, als die rothe Scheibe auf der untern Seite, wenn man zu demselben Versuch eine positiv geladene Flasche anwendet.

Rieß hat gezeigt, daß die Staubfiguren nur dann entstehen, wenn der Uebergang der Electricität auf die isolirende Platte von einer discontinuirlichen Entladung begleitet ist, die sich meistens schon durch ein eigenthümliches Zischen zu erkennen giebt. Hält man die Pechplatte an den Knopf einer geladenen Flasche, so geht ein Funken mit knisterndem Geräusch über, es findet also eine discontinuirliche Entladung Statt, beim Bestäuben entsteht eine Staubfigur; wird aber die Platte in eine solche Entfernung von dem Knopf der Flasche gebracht, daß kein Funken übergehen kann, so geht doch allmälig etwas Electricität über, indem eine continuirliche

Entladung stattfindet. Bestäubt man die Platte, nachdem sie 30 bis 70 Minuten dem Knopf der Flasche gegenüber gestanden hat, so zeigen sich eine Menge rundlicher Flecken, welche unregelmäßig vertheilt sind, gelb, wenn die Flasche positiv, roth, wenn sie negativ geladen war. Diese Flecken zeigen keine Spur von strahliger Ausbreitung, sie sind an Größe und Gestalt für beide Elektricitäten völlig gleich.

Elektrische Staubfiguren entstehen also nur dann, wenn Elektricität durch eine discontinuirliche Entladung auf eine isolirende Platte gekommen ist.

Auf diese Thatsache gründet Rieß eine sehr sinnreiche Erklärung der Verschiedenheit der positiven und der negativen Staubfiguren. Bei der discontinuirlichen Entladung, welche über die Oberfläche eines Isolators hingeht, wird die condensirte Atmosphäre, welche die Oberfläche aller Körper bedeckt, gewaltsam durchbrochen, und ein Theil dieser auch Wasserdämpfe enthaltenen Schicht gewaltsam gegen die Oberfläche des Körpers selbst geworfen.

Nun aber hat Faraday gezeigt, daß, wenn feuchte Luft gewaltsam gegen irgend einen Körper strömt, dieser negativ elektrisch wird, und so wird denn nun hier auch die Oberfläche der Platte negativ elektrisch in Folge der Entladung, welche über die Fläche hin stattfindet; die von dieser Entladung noch übrig bleibende Elektricität hat sich also nur auf einer negativ elektrischen isolirenden Fläche zu verbreiten.

Ist die Flasche mit negativer Elektricität geladen, so verbreitet sich diese also von der Spitze aus über eine isolirende schon negative Fläche; die Umstände sind also der Ausbreitung der negativen Elektricität nicht günstig, die Figur wird nicht groß werden können und eine abgerundete Gestalt annehmen.

Ist die Flasche positiv geladen, so verbreitet sich der Rest der positiven Ladung von der Spitze aus auf einer durch die discontinuirliche Entladung negativ elektrischen isolirenden Schicht; der Umstand, daß jetzt also auf der Fläche schon Elektricität vorhanden ist, welche auf die von der Spitze noch ferner ausgehende anziehend wirkt, veranlaßt eine größere Ausbreitung der positiven Elektricität, der Umstand aber, daß die nachströmende positive Elektricität theilweise von der vorhandenen negativen neutralisirt wird, verursacht die strahlenförmige Gestalt der positiven Staubfigur.

Als Stütze für diese Ansicht führt Rieß noch die Modification der Erscheinung in verdünnter Luft an. Auf eine Pechplatte, die sich in einer Glasbüchse befand, wurde das stumpfe Ende eines Drahtes gestellt, der von einer mit positiver Elektricität geladenen Flasche einen Funken erhielt. Bei vollem Luftdruck entstand durch Bestäubung der Platte die Sonne, als aber die Luft bis auf 27½ Linien Barometerhöhe verdünnt war, ent-

stand nur noch ein unregelmäßiger gelber Fleck. Ebenso verhielt sich die negative Elektricität. Der Unterschied der positiven und negativen Figuren wurde bei dieser Verdünnung nicht mehr beobachtet.

Als die Luft auf 2—3 Linien ausgepumpt war, hinterließ die Drahtspitze nur noch einen Punkt, der bei positiver Elektricität roth, bei negativer Elektricität gelb, also nicht durch Uebergang der Elektricität auf die Platte, sondern durch Vertheilung entstanden war.

Das Durchbrechen der Luftschicht, welche die Platte umgiebt, ist also zur Erzeugung der Staubfiguren wesentlich.

74 **Staubbilder.** Wenn man einen Stempel (am besten einen möglichst einfachen, etwa einen einzigen erhabenen Buchstaben; man könnte dazu eine Buchdruckertype anwenden) auf eine einfache Pechplatte (so nennt Rieß eine nur auf einer Seite mit Pech überzogene Kupferscheibe) setzt, und dann dem Stempel Elektricität mittheilt, so wirkt er da, wo seine Fläche die Pechfläche berührt, vertheilend, die Pechfläche wird an der berührten Stelle elektrisch, und zwar entgegengesetzt zu der Elektricität des Stempels, denn wenn man nach Abheben des Stempels die Platte mit der erwähnten Pulvermischung bestäubt, so erhält man ein rothes Bild des Buchstabens, wenn der Stempel positiv, ein gelbes, wenn er negativ war; das Schwefelpulver setzt sich aber auf die positiven, Mennigpulver auf die negativen Stellen der Harzplatte.

Die oben beschriebene Erscheinung erleidet je nach der Art, wie der Stempel elektrisch gemacht wird, mancherlei Modificationen.

Berührt man den Stempel mit dem Knopf einer geladenen Leidner Flasche, und hebt man dann den Stempel isolirt ab, so entsteht das Bild des Stempels in der angegebenen Weise, es ist aber schwach bestäubt, während der Grund, durch Staubfiguren gebildet, gelb ist, wenn der Buchstaben roth erscheint, roth aber, wenn der Buchstaben gelb ist.

Wird der Stempel nicht isolirt abgehoben, so wird die Staubfigur verändert, wodurch auch die Reinheit des Bildes leidet.

Durch zu starke Elektrisirung läßt sich auch an der Stelle, wo der Stempel die Platte berührt, der Uebergang der Elektricität auf der Platte wenigstens theilweise erzwingen, so daß ein theils rothes, theils gelbes Staubbild entsteht.

Hier haben wir also gleichzeitig ein Staubbild und Staubfiguren. Um das Staubbild rein zu erhalten, muß man die Bildung der Staubfiguren vermeiden, was Rieß durch mehrere Methoden erreichte.

Der Knopf der Leidner Flasche wurde mit einer vierzölligen Kugel vertauscht, die Flasche selbst horizontal gelegt und befestigt, so daß man unter die Kugel die Pechplatte und den Stempel stellen konnte; der Stiel des Stempels war $1/2$ Zoll von der Kugel entfernt. Durch die vertheilende

Kugel wurde das Ende des Stempels, welches das Pech berührte, mit der Kugel gleichnamig elektrisch, eine zu starke Anhäufung der Elektricität wurde dadurch verhindert, daß der Stempel mit einer Spitze versehen war. Nachdem der Stempel etwa 20 bis 30 Minuten der vertheilenden Wirkung der Kugel ausgesetzt gewesen war, entstand ein reines Staubbild ohne Staubfigur, dagegen fanden sich unregelmäßige Flecke auf dem Grunde, welche nicht von der Farbe des Bildes waren.

Aehnliche Resultate wurden erhalten, als der Stempel mit dem einen Pol einer kräftigen trockenen Säule mehrere Stunden lang in Verbindung blieb, während die Elektricität des anderen Pols möglichst vollständig abgeleitet wurde.

In diesen Fällen, wo überhaupt keine Staubfigur entstand, war es gleichgültig, ob man den Stempel isolirt oder nicht isolirt abhob.

Die Farbe der unregelmäßigen Flecken zeigt, daß sie von Elektricität herrühren, die von dem Stempel auf die Pechplatte an Stellen übergegangen ist, die ihr ein leichtes Einströmen erlaubten. Um sie zu vermeiden, hat man nur dieser Elektricität einen noch leichteren Uebergang zu einer leitenden Umgebung zu bereiten, wie es geschieht, wenn man die Staubbilder in verdünnter Luft erzeugt. Rieß hat auf diese Art die vollkommensten Staubbilder erhalten.

Die bisher betrachteten Staubfiguren und Staubbilder sind nach der Bezeichnung von Rieß primär elektrische Zeichnungen, die im Folgenden zu betrachtenden Figuren und Bilder sind secundär elektrische Zeichnungen.

Elektrische Hauchfiguren. Die Oberfläche von Glas, Glimmer u. s. w., 75
über welche ein elektrischer Entladungsfunken gegangen ist, zeigt beim Behauchen eigenthümliche verästelte Figuren, die spiegelhell auf dem vom Hauche getrübten Grunde stehen.

Die Hauchfigur bezeichnet den Weg, welchen die elektrische Entladung auf der Fläche genommen hat und ihre Form ist daher nach der Natur der Substanz dieser Fläche verschieden. Auf Metall erscheint sie als runde Scheibe, auf Harz als geschlängelte Streifen, auf Glimmer als feine, vielfach verästelte Linie.

Von der Art der angewandten Elektricität ist die Hauchfigur unabhängig.

Daß die Hauchfiguren nicht von Elektricität herrühren, welche noch auf der Fläche haftet, geht daraus hervor, daß sie sich auch auf Metallflächen darstellen lassen, auf welchen sie beim Behauchen als helle Kreisfläche umgeben von mehr oder minder getrübten Ringen erscheinen; auch zeigt sich die Hauchfigur noch längere Zeit, nachdem der Entladungsschlag über die Fläche gegangen ist, oder wenn man die Fläche von einer Weingeistflamme

hat bestreichen lassen; von anhaftender Elektricität können die Hauchfiguren also nicht herrühren, sie sind einer Oberflächenänderung zuzuschreiben, welche die angewandte Substanz durch die elektrische Entladung erfahren hat.

Auf frischen Glimmerflächen, d. h. auf solchen, welche durch eine frische Spaltung erhalten werden, kommen keine Hauchfiguren zu Stande. Es hängt dies von einer eigenthümlichen Eigenschaft der frischen Glimmerflächen ab, welche Rieß im 67sten Bande von Poggendorff's Annalen Seite 354 beschrieben hat.

Wird ein reines Glimmerblatt angehaucht, oder über dampfendes Wasser gehalten, so beschlägt es, wie alle Körper, es wird mit einer bald wieder verschwindenden Wasserschicht überzogen, die aus sehr kleinen, in einigem Abstande von einander befindlichen Wassertropfen besteht.

Wenn man aber dem Glimmer durch Spaltung eine frische Oberfläche giebt, so bleibt sie beim Behauchen vollkommen klar, spiegelnd und durchsichtig.

Diese Erscheinung rührt keineswegs daher, daß die frische Fläche keinen Wasserdampf condensirt; hat man ihr einige Ausdehnung gegeben, so bemerkt man leicht, daß sie durch den Hauch mit den Farben der dünnen Blättchen anläuft, also mit einer zusammenhängenden Wasserschicht bedeckt ist.

Ein Wassertropfen, der auf einer alten Glimmerfläche stehen bleibt, zerfließt auf einer frischen sogleich und benetzt dieselbe vollständig.

Eine durch Spaltung eben entstandene Glimmerfläche besitzt also in Folge ihrer großen Reinheit eine so große Anziehung zum Wassergase, daß sie dasselbe zu einer cohärenten Schicht verdichtet, während sie längere Zeit der Luft ausgesetzt, dasselbe nur in gesonderten Tropfen zu condensiren vermag.

Während eine alte Glimmerfläche ein sehr guter Isolator der Elektricität ist, wird ein Elektroscop durch eine frische Glimmerfläche in wenigen Sekunden entladen, die frische Glimmerfläche wirkt nämlich hygroscopisch, sie verdichtet den atmosphärischen Wasserdampf zu einer cohärenten Wasserschicht, welche die Elektricität leitet.

Diese merkwürdige Eigenschaft frischer Glimmerflächen erhält sich an der Luft nur kurze Zeit, nach einigen Tagen wird sie schon durch Behauchen getrübt.

Sehr heftige elektrische Entladungen bringen nicht allein eine Veränderung der die Körper bedeckenden fremden Schicht hervor, sondern sie verändern die Oberfläche der Körper selbst. Hierher gehören die schon oben S. 111 betrachteten Spuren, welche die Entladungsfunken auf Glas und Glimmer zurückläßt (elektrische Farbenstreifen) und die Prießley'schen

Ringe, welche entstehen, wenn mehrere Entladungen einer Batterie zwischen einer Spitze und einer polirten Metallfläche Statt finden, wobei sich durch Oxydation des Metalls mehrere gefärbte concentrische Kreise bilden.

Karsten's elektrische Abbildungen. Die Analogie elektrischer 76
Hauchfiguren, welche Rieß im VI. Bande von Dove's Repertorium der Physik beschrieben hatte, mit den Moser'schen Bildern, veranlaßte Karsten zu versuchen, ob sich nicht auch solche Bilder auf elektrischem Wege darstellen ließen.

Zu dem Ende legte er (P. A. LVII. 492) eine Münze auf Spiegelglas, das auf einer abgeleiteten Metallplatte ruhte und ließ aus dem Conductor der Maschine Funken auf die Münze schlagen, die zugleich von dieser nach der Metallplatte (also um den Glasrand herum) überschlugen. Nach 100 Umdrehungen der Maschine wurde die Münze entfernt; die Glastafel erschien durchaus unverändert, beim Behauchen aber kam das vollständige Bild der Münze zum Vorschein.

Ueber elektrische Abbildungen hat Karsten außer dem erwähnten noch zwei andere Aufsätze in Poggendorff's Annalen publicirt (LVIII. 115 und LX. 1), da es ihm jedoch nicht gelungen ist, die wahre Natur der elektrischen Bilder zu ermitteln, so ist es wohl unnöthig, weiter in's Detail dieser Abhandlungen einzugehen, um so mehr, da, wie wir sogleich sehen werden, Rieß die zur Entstehung elektrischer Bilder erforderlichen Bedingungen richtig erkannt hat, der Bericht über die Rieß'sche Untersuchung also hinreicht, um wenigstens das Thatsächliche zur Kenntniß des Lesers zu bringen.

Nur nach einer Seite hin müssen wir Karsten's letzten Aufsatz noch etwas betrachten. Im Eingange führt er mehrere Versuche an, die man gemacht hat, um die Entstehung der Moser'schen Bilder zu erklären; er führt hier außer Moser's eigner Theorie noch die Ansichten von Hunt, Knorr, Figrau, Daguerre, Masson und Moore an. Warum wird hier Waideles treffliche Arbeit über diesen Gegenstand ignorirt, die doch schon in der ersten Hälfte des 59sten Bandes von Poggendorff's Annalen steht, und welche uns, nachdem diese Bilder Veranlassung zu vielfachen theoretischen Schwindeleien geworden waren, zuerst wieder auf den Boden einer rationellen Behandlung des Gegenstandes zurückführt. Sollte Karsten diese Arbeit bei Abfassung des Aufsatzes im 60sten Bande der Annalen noch nicht gekannt haben?

Die Erklärung, die Karsten von den Moser'schen Bildern giebt, ist durchaus unzulässig und leicht zu widerlegen. Er meint, weil man mit Hülfe von Elektricität ähnliche Bilder erzeugen kann, so müßten auch die Moser'schen Bilder elektrischen Ursprungs seyn. — Er meint: »Wenn zwei Körper, die irgendwie von einander verschieden sind mit ein-

ander in Berührung kommen, so entsteht ein elektrischer Strom!?« und dieser soll die Ursache der Moser'schen Bilder seyn.

Die Entstehung eines elektrischen Stromes bei Berührung zweier heterogener Körper, wie es sich hier Karsten vorzustellen scheint, wird selbst der eifrigste Anhänger der Contacttheorie nicht zugeben, aber selbst die Existenz eines solchen Stromes zugegeben, würde dieser kein Bild erzeugen können, wie die Rieß'schen Untersuchungen beweisen.

Daß eine elektrische Spannung allein ohne wiederholte Entladung zwischen dem abzubildenden Körper und der Platte zur Erzeugung elektrischer Bilder nicht hinreicht, hat schon Knorr in einem Aufsatz: »über elektrische Abbildungen und Thermographien (P.A. LXI.569)« gezeigt, und die Unhaltbarkeit der Karsten'schen Ansicht, als seyen die Moser'schen Bilder elektrischen Ursprungs, nachgewiesen.

Der übrige Inhalt der Knorr'schen Aufsätze wird als nicht hierher gehörig erst bei einer andern Gelegenheit besprochen werden.

77 **Elektrische Hauchbilder.** Rieß setzte einen Metallstempel auf eine spiegelnde Pechfläche, auf diesen ein kleines Metallgewicht, welches durch einen Metallfaden (Silberfaden) mit derjenigen Kugel des Funkenmikrometers verbunden war, welche direct vom Conductor der Maschine die Elektricität empfing, während die andere Kugel des Funkenmikrometers $\frac{1}{2}$ Linie von der ersteren entfernt, mit dem Boden in leitender Verbindung stand.

Wird nun die Maschine gedreht, so häuft sich auf der ersten Kugel des Funkenmikrometers und dem Stempel Elektricität an, bis eine Entladung durch Ueberschlagen eines Funkens zwischen den beiden Kugeln entsteht; bei fortgesetztem Drehen wird der Stempel von neuem geladen und entladen u. s. w. Die Entladungen folgen um so rascher, je näher die Kugeln des Funkenmikrometers einander stehen.

Nach einigen Umdrehungen der Scheibe wurde der Stempel abgehoben, und die Platte behaucht und zeigte nun ein spiegelndes Bild des Stempels auf trübem Grunde.

Es ist für diesen Versuch gleichgültig, welche Elektricität die Elektrisirmaschine liefert.

Auf Glas und Glimmer lassen sich solche Bilder ebenfalls erzeugen, jedoch erscheinen hier öfters mißlungene Bilder.

Das einfache Hauchbild, sagt Rieß, entsteht durch wiederholte elektrische Entladungen, die zwischen dem Modelle und der isolirenden Platte in entgegengesetzter Richtung stattfinden. Die Elektricität, welche den Modellen mitgetheilt wird, geht auf die Platte über, und später an das Modell zurück, wenn dieses durch das Funkenmikrometer entladen wird; es entsteht also eine Bewegung derselben Elektricitätsart von Oben nach

Unten, und dann wieder von Unten nach Oben. — Da die Entladungen zwischen einem schlechten und einem guten Leiter nie vollständig sind, so bleibt Elektricität der angewandten und der entgegengesetzten Art auf die so isolirende Platte zurück, welche daselbst Staubfiguren, oft auch Staubbilder zu erzeugen im Stande sind.

Durch einfache Elektrisirung des Stempels, wie sie zur Hervorbringung der Staubbilder angewandt wird, entsteht kein Hauchbild; die abwechselnde Ladung und Entladung des Stempels ist zur Bildung des Hauchbildes durchaus nöthig.

Legt man auf eine Pechplatte ein Glimmerblatt, und setzt man auf dieses einen Metallstempel, so wird bei der Elektrisirung des Stempels eine zweifache Entladung derselben Elektricitätsart nach derselben Richtung stattfinden, nämlich vom Stempel zur oberen Glimmerfläche und von der unteren Glimmerfläche zur Pechplatte. Als der Stempel von einer positiv geladenen Flasche ein Funken mitgetheilt worden war, zeigte die Pechfläche bestäubt das gelbe Bild des Stempels von positiven Staubfiguren umgeben; wenn man also bei dieser Anordnung der Stempel abwechselnde Ladung und Entladung erfährt, so sind die Bedingungen zu Bildung mehrfacher Hauchbilder gegeben.

Eine Pechfläche wurde mit einem Glimmerblatte bedeckt und ein Stempel darauf gestellt, der durch das Funkenmikrometer geladen und entladen wurde. Nach 20 Umdrehungen zeigte die obere Glimmerfläche ein vollkommenes, die untere Glimmerfläche und die Pechfläche aber ein meist unvollkommenes Hauchbild.

Diese Bilder bleiben so oft unvollkommen, weil Pech und Glimmer durch die nach jeder Entladung zurückbleibende Elektricität stark zusammenhaften und folgende Entladungen dann an Stellen herbeigeführt werden, die zufällig zerstreut außerhalb der Bildfläche liegen, wird aber für die Pechplatte eine Metallplatte substituirt, so erhält man ein vollkommenes Hauchbild auf der oberen und unteren Glimmerfläche und auf der Metallfläche.

Das Sichtbarwerden der Hauchbilder ist nach Rieß dadurch zu erklären, daß die Oberflächen durch die elektrischen Entladungen von der fremden Schicht befreit werden, mit welcher sie in der Regel überzogen sind, und er hat eine solche Reinigung bei Bildern auf Metall auch nachgewiesen. Auf einer vollkommen isolirenden Glimmerfläche erzeugte Rieß ein Hauchbild und nun zeigte sich die Stelle, an welcher das Bild erschien, leitend wie eine frische Glimmerfläche; die Glimmerfläche war also in der That von der sie bedeckenden Schicht an dieser Stelle gereinigt worden.

In den meisten Fällen werden die Hauchbilder allerdings durch eine

solche Reinigung erzeugt, das Hauchbild kann aber auch durch Verunreinigung der Platte entstehen.

Auf einer frischen Glimmerfläche erhält man ein getrübtes Bild des Stempels auf spiegelndem Grunde. Auf einer alten Glimmerfläche, welche durch 40 Umdrehungen elektrisirt, ein helles Hauchbild (Grund behaucht) gab, wurde durch 100 Umdrehungen ein Bild erzeugt, welches vollkommen getrübt hervortrat.

Die in der Trübung verschiedene Art des Hauchbildes hängt vom Zustande der angewandten Platte und des Stempels, und von der Stärke der Elektrisirung ab, und die helleren Bilder kommen nur deßhalb öfter vor, weil man sich unreiner Platten, und einer möglichst geringen Elektricität zu bedienen gewohnt ist.

Die Entstehung der Hauchbilder ist, wie die der Hauchfiguren einer Veränderung zuzuschreiben, welche die elektrische Entladung in der Schicht hervorbringt, welche die Platten deckt, und je nach Umständen in einer Verdünnung oder Verdichtung dieser Schicht besteht.

Ein Funken, aus einer reinen Metallfläche gezogen, verletzt dieselbe, läßt sie aber unverändert, wenn sie unrein oder gar gefirnißt ist. Ein ähnlicher Fall tritt auch bei den Hauchbildern auf Metall ein. Geht nur eine geringe Anzahl von Entladungen zwischen der Metallfläche und dem sie deckenden Glimmer über, so beginnt die intermittirende Entladung in der fremden Schicht auf der Oberfläche des Metalls, und das Metall bleibt unverletzt; ist hingegen diese fremde Schicht zerstört und dadurch eben das Hauchbild entstanden, und man läßt die Entladungen fortdauern, so beginnen diese im Metalle selbst und verändern dasselbe. Rieß hat solche Bilder, die sich ohne Behauchung zeigten und einzelne Theile des Stempels in bräunlicher Farbe wiedergaben, auf Silber zuweilen schon durch 50 bis 60 Umdrehungen dargestellt.

78 **Elektrolitische Bilder.** Wird die stumpfe Spitze einer Platinnadel auf ein mit Jodkaliumlösung befeuchtetes Papier gestellt, das auf einer zur Erde abgeleiteten Metallplatte liegt, so entsteht unter der Spitze ein brauner Fleck, wenn man die Nadel positiv, aber kein Fleck, wenn man die Nadel negativ elektrisirt. Wendet man positive und negative Elektricität in beliebiger Ordnung nach einander an, so bleibt dennoch die Färbung, selbst wenn die Menge der negativen Elektricität die der positiven bei weitem übertrifft.

Dies Factum erklärt die elektrolitischen Bilder, welche Rieß erfunden hat, um die Richtigkeit der eben angeführten Ansicht, über die Bildung der Hauchbilder durch hin- und hergehende Entladung, zu beweisen.

Ein Stück (Muster-) Karten-Papier wurde auf einer Fläche mit einer Lösung von Jodkalium in Wasser befeuchtet auf eine zur Erde abgeleitete

Metallplatte gelegt und mit einem Glimmerblatte bedeckt. Ein Stempel wurde auf den Glimmer gestellt, durch ein Gewicht von 2 — 14 Unzen angedrückt und mit dem Funkenmikrometer verbunden, dessen Kugeln $\frac{1}{2}$ Linie von einander entfernt waren. Nach 20 Umdrehungen der Scheibe, deren positive Elektricität fortwährend mit Funken zwischen den Kugeln überging, war ein sehr scharfes Bild auf dem Papier entstanden, in welchem die Buchstaben des Stempels braun erschienen.

Die Erklärung dieser Erscheinung ist nach dem obigen leicht. Wie bei den Hauchbildern geht, während der Stempel mit positiver Elektricität geladen wird, die positive Elektricität von der unteren Glimmerfläche zu der Metallplatte und zwar hier durch das feuchte Papier über, und durch diesen Uebergang der $+E$ zur Metallplatte wird das Jodkalium zersetzt; sobald eine Entladung zwischen den Kugeln des Funkenmikrometers stattfindet, findet zwischen der Metallplatte und dem Glimmer eine entgegengesetzte Strömung Statt, es kehrt nämlich jetzt die $+E$ zum Glimmer zurück, also $-E$ vom Glimmer durch die feuchte Scheibe zum Metall. Während die $+E$ zum Metall geht, wird das Jodkalium zerlegt und dieser Effect wird durch die Entladung in entgegengesetzter Richtung nicht aufgehoben.

Sehr zu bemerken ist, daß das Uebergehen der $+E$ vom Glimmer zum Metall allmälig stattfindet, während die Entladung in entgegengesetzter Richtung momentan vor sich geht.

Wiederholt man den Versuch genau in derselben Weise mit $-E$, so erhält man kein Bild, sondern unregelmäßige braune Flecken.

Dies erklärt sich nun auch leicht; hier geht nämlich die negative Elektricität allmälig zur Metallplatte, während die Strömung in entgegengesetzter Richtung plötzlich vor sich geht, also eine größere Menge positiver Elektricität auf einmal zur Metallplatte zurückkehrt, also leichter auch an solchen Punkten übergeht, die außerhalb der Bildfläche liegen.

Um mit negativer Elektricität ein Bild zu erhalten, hat man nur dafür zu sorgen, daß die Menge der $+E$, welche bei der Entladung zwischen den Kugeln zur Metallplatte zurückkehrt, geringer wird, was man dadurch erreicht, daß man die Kugeln des Funkenmikrometers einander nähert.

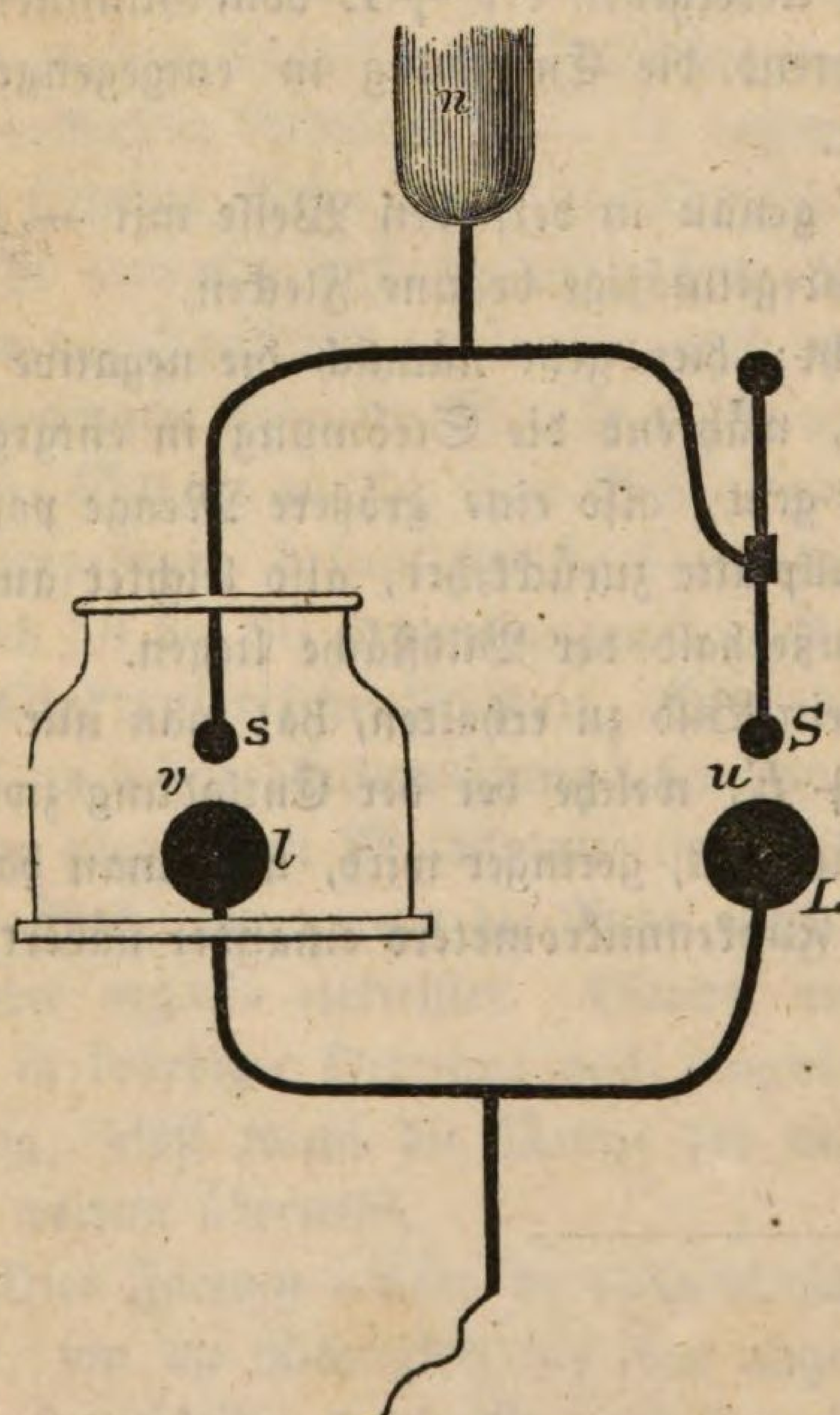
Vierter Abschnitt.

Elektrische Funken und Lichtbüschel.

---

79 **Faraday's Untersuchungen über Funken und Lichtbüschel.** Ohne näher auf die an einer andern Stelle (Seite 64) schon erwähnten theoretischen Betrachtungen einzugehen, welche Faraday über Funken und Lichtbüschel anstellte, will ich hier nur die wichtigsten Thatsachen zusammenstellen, welche er bei seinen Versuchen über diese Lichterscheinungen ermittelt hat. (P. A. XLVII. und XLVIII.)

Fig. 72.



Um den Widerstand, welchen verschiedene Gase dem Ueberschlagen von Funken entgegensetzen, mit dem entsprechenden Widerstande der Luft zu vergleichen, wandte Faraday einen Apparat an, dessen Schema in Figur 72 dargestellt ist. Zwei kleine Kugeln *s* und *S*, die mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine verbunden sind, stehen zwei größern Kugeln *l* und *L* gegenüber, welche ableitend mit dem Boden in Verbindung

stehen. Der Durchmesser der Kugeln war folgender:

s	0,93 Zoll	l	2,02 Zoll
S	0,96 »	L	1,95 »

Der Zwischenraum v zwischen s und l blieb beständig 0,62 Zoll; der Zwischenraum u zwischen S und L war veränderlich.

Es wäre sehr gut gewesen, wenn die beiden kleinen Kugeln s und S einander vollkommen gleich gewesen wären, ebenso hätten eigentlich l und L ganz gleich seyn sollen, man hätte alsdann viel sicherere Schlüsse aus den folgenden Versuchen ziehen können.

Die beiden Kugeln s und l befanden sich in einer Glasglocke, die luftleer gemacht und dann mit verschiedenen Gasen gefüllt werden konnte.

War der Recipient mit Luft unter dem Drucke der Atmosphäre gefüllt, so schlugen die Funken abwechselnd bei u und v über, wenn der Zwischenraum bei u zwischen 0,6 und 0,79 Zoll betrug. Nur wenn der Zwischenraum u kleiner als 0,6 Zoll war, schlugen hier die Funken beständig über, war er aber größer als 0,79 Zoll, so schlugen die Funken beständig bei v über.

Aehnliche Resultate wurden erhalten, wenn andere Gase, unter dem Drucke der Atmosphäre im Recipienten waren. Es ergaben sich für den Zwischenraum bei u zwei Gränzen, innerhalb deren der Funke bald bei u, bald bei v überschlägt; ist der Zwischenraum bei u kleiner als der kleinste dieser Gränzwerthe, so schlägt der Funken stets bei u, ist er aber größer als der größte dieser Gränzwerthe, so schlägt er stets bei v über. Die folgende Tabelle giebt für verschiedene Gase die Gränzwerthe von u an, während v stets 0,62 Zoll bleibt.

		kleinster	größter	mittlerer
Luft s und S	+	0,60	0,79	0,695
	—	0,59	0,68	0,635
Sauerstoff s und S . .	+	0,41	0,60	0,505
	—	0,50	0,52	0,510
Stickstoff s und S . .	+	0,55	0,68	0,615
	—	0,59	0,70	0,645
Wasserstoff s und S . .	+	0,30	0,44	0,370
	—	0,25	0,30	0,275
Kohlensäure s und S .	+	0,56	0,72	0,640
	—	0,58	0,60	0,590
Oelbildendes Gas s und S	+	0,64	0,86	0,750
	—	0,69	0,77	0,730
Steinkohlengas s und S	+	0,37	0,61	0,490
	—	0,47	0,58	0,525
Salzsäuregas s und S .	+	0,89	1,32	1,105
	—	0,67	0,75	0,720

Eine ähnliche Versuchsreihe gab

		kleinster	größter	mittlerer
für Wasserstoff	s und S +	0,23	0,57	0,400
» Kohlensäure		0,51	1,05	0,780
» ölbildendes Gas		0,66	1,27	0,965

was mit den obigen Resultaten eben nicht sehr übereinstimmt, ein Beweis, daß diese Zahlen keine sonderliche Basis bieten, um Schlüsse darauf zu bauen.

Daß innerhalb gewisser Gränzen für die Entfernung bei u der Funken abwechselnd bei u oder v überschlägt, daß es also nicht für jedes Gas einen einzigen fest bestimmten Werth von u giebt, über welchen hinaus der Funken stets bei v, unter welchen aber der Funken stets bei u überspringt, hängt jedenfalls von Zufälligkeiten ab (vielleicht von Staubtheilchen die in der Luft schweben), über die wir keine Rechenschaft geben können.

Wenn an einem der Zwischenräume einmal ein Funken übergegangen ist, so hat er gewöhnlich eine stärkere Neigung zum Erscheinen an demselben Zwischenraume.

Ein merkwürdiger Umstand liegt darin, daß die erwähnten Gränzwerthe der Entfernung u viel näher zusammen fallen, wenn s und S negativ, als wenn diese Kugeln positiv sind. Es ist nämlich nach obiger Tabelle die Differenz der Gränzwerthe

	s und S +	s und S —
in Luft	0,19	0,09
Sauerstoff	0,19	0,02
Stickstoff	0,13	0,11
Wasserstoff	0,14	0,05
Kohlensäure	0,16	0,02
ölbildendem Gas	0,22	0,08
Steinkohlengas	0,24	0,12
Salzsäuregas	0,43	0,08

Obwohl, wie Faraday selbst bemerkt, diese Zahlen wohl noch einer bedeutenden Berichtigung bedürfen, so ist doch das allgemeine Resultat auffallend und der Unterschied in mehreren Fällen sehr groß.

Aus diesen Versuchen geht klar hervor, daß verschiedene Gase nicht gleiches Isolationsvermögen haben. Betrachten wir die mittleren Werthe von u (für positive Ladung von s und S), so sehen wir daraus, daß eine 0,62 Zoll dicke Schicht von

Sauerstoff	eben so gut isolirt wie eine Luftschicht, deren Dicke ist	0,505
Stickstoff		0,615
Wasserstoff		0,370
Kohlensäure		0,640
Ölbildendes Gas		0,750
Steinkohlengas		0,490
Salzsäuregas		1,105

d. h. eine elektrische Entladung geht eben so leicht durch eine 0,370 Zoll dicke Luftschicht, wie durch eine 0,62 Zoll dicke Schicht von Wasserstoffgas, ein elektrischer Funken schlägt eben so leicht durch eine 1,105 Zoll dicke Luftschicht wie durch eine 0,62 Zoll dicke Schicht von Salzsäuregas. Ein elektrischer Funken schlägt also entschieden leichter durch Sauerstoff, Wasserstoff und Steinkohlengas, als durch eine gleich dicke Schicht von Luft, dagegen setzt Salzsäuregas und ölbildendes Gas dem Ueberschlagen des elektrischen Funkens einen entschieden größeren Widerstand entgegen als eine gleich dicke Luftschicht.

Aehnliche Resultate ergab eine spätere, jedenfalls weniger zuverlässige Versuchsreihe. (P. A. XLVIII. S. 281.)

Die mittleren Werthe von u sind nicht gleich bei positiver und negativer Ladung von s und S, für manche Gase hat u einen größeren mittleren Werth, bei positiver Ladung von S und s als bei negativer, bei anderen Gasen ist es umgekehrt; aus diesen Versuchen jedoch den Schluß ziehen zu wollen, daß manche Gase die negative, andere die positive Entladung besser durchlassen, scheint mir durchaus unzulässig, weil die hierher gehörigen Differenzen der obigen Tabelle offenbar innerhalb der Beobachtungsfehler liegen.

So ist nach der Tabelle auf S. 187 der mittlere Werth von u bei positiver Ladung von s und S für

Wasserstoff . .	0,37
Kohlensäure . .	0,64
ölbildendes Gas .	0,75,

während Faraday bei einer späteren Versuchsreihe bei gleicher Anordnung folgende Werthe erhielt:

Wasserstoff . .	0,40
Kohlensäure . .	0,78
ölbildendes Gas .	0,96.

Man sieht, daß die entsprechenden Werthe von u, welche man für positive Ladung von s und S erhielt, und welche eigentlich gleich seyn sollten, eben so stark von einander differiren, wie die entsprechenden Werthe bei positiver und negativer Ladung von S und s, wonach es wohl als gerechtfertigt erscheint, wenn man auf diese Differenzen kein weiteres Gewicht

legt; ein Grund mehr, welcher dafür spricht, diese Differenzen auf Kosten der Beobachtungsfehler zu schreiben, liegt darin, daß auch, wenn Luft in der Glocke ist, wenn also der Funken bei v ebenfalls durch Luft schlägt, der positive und negative Mittelwerth für u ungleich gefunden wurde, nämlich wenn s und S positiv, war $u = 0{,}695$; als s und S negativ, war $u = 0{,}635$. — Diese Differenz kann doch nur zufälligen Störungen zugeschrieben werden, welche eben die Beobachtungsfehler bedingen, denn warum sollte bei positiver Ladung von s und S der Funken leichter durch die Luft bei v, bei negativer Ladung leichter durch die Luft bei u übergehn? — Wenn Luft im Gefäß ist, hätte man den Werth von u für + und — Ladung von s und S doch nur unbedeutend verschieden finden müssen, wenn die Beobachtungsfehler nicht zu bedeutend wären.

Faraday selbst hält diese Versuche in dieser Beziehung nicht für entscheidend, führt aber noch einiges an, was für eine solche Differenz zwischen positiver und negativer Entladung sprechen soll. Als $u = 0{,}8''$ gemacht und die Glocke mit Salzsäuregas gefüllt worden war, fand bei positiver Ladung von s und S die Entladung stets bei u durch Luft, bei negativer Ladung von s in S aber stets bei v durch das Salzsäuregas Statt.

So fand sich auch, daß, wenn der Conductor nur mit dem Salzsäure-Apparat verbunden war, die Entladung leichter bei negativer Ladung der kleinen Kugel s geschah, als bei positiver, denn in letzterem Falle ging viel von der Elektricität als Lichtbüschel-Entladung aus dem Verbindungsdraht durch die Luft, allein im ersteren Falle schien alles durch das Salzsäuregas zu gehen. (P. A. XLVII. 287.)

80 **Ungleiche Schlagweite bei positiver und negativer Entladung.** Viele bekannte Erscheinungen sprechen allerdings dafür, daß die positive und negative Entladung nicht mit gleicher Leichtigkeit stattfinde. Wenn einer kleinen, mit dem Conductor verbundenen Kugel, welche also die vertheilende ist, eine größere ableitend berührte (die vertheilte) gegenübersteht, so erhält man bekanntlich fast doppelt so lange Funken, wenn der Conductor positiv, als wenn er negativ ist.

Faraday hat diesen Umstand näher untersucht, und dabei folgende Thatsachen ermittelt.

Die Entladung ließ er vor sich gehn zwischen zwei Kugeln, von denen die eine 2, die andere 0,25 Zoll im Durchmesser hatte. War die große Kugel mit dem Conductor verbunden, also die vertheilende, so erschienen bei positivem Conductor

Funken allein bis zu einem Zwischenraume von . . . . . 0,49 Zoll
negative Büschel, von der kleinen Kugel ausgehend allein, wenn
der Zwischenraum größer war, als . . . . 0,52 »

Bei negativem Conductor

Funken allein bis zu einem Zwischenraum von . . . . . 1,15 Zoll
Positive Büschel, von der kleinen Kugel ausgehend allein, wenn der Zwischenraum größer war als . . . . 1,65 »

Zwischen diesen Gränzen erhielt er Funken und Büschel gemischt.

Nun wurde die kleine Kugel mit dem Conductor in Verbindung gebracht, die große zum Boden abgeleitet. Es ergaben sich bei positivem Conductor

Funken allein bis zu einem Zwischenraum von . . . . . 0,67 Zoll
positive Büschel allein, wenn der Zwischenraum größer war als 0,74 »

Bei negativem Conductor

Funken allein bis zu einem Zwischenraum von . . . . . 0,4 »
negative Büschel allein, wenn der Zwischenraum größer war als 0,44 »

Aus diesen Versuchen ergiebt sich also:

1) man erhält längere Funken, wenn die kleine Kugel positiv elektrisch ist,

2) man erhält längere Funken, wenn die große Kugel die vertheilende und die kleine die vertheilte ist.

Wenn die kleine Kugel Elektricität in Form von Büscheln entladet, so sind die Büschel weit zahlreicher, und ein jeder scheint viel weniger elektrische Kraft fortzuführen, wenn die so entladene Elektricität negativ, als wenn sie positiv ist.

Dies scheint anzudeuten, daß die kleine Kugel zur Entladung eine stärkere Spannung erfordert, wenn sie positiv, als wenn sie negativ ist.

Um diesen wichtigen Punkt zu erläutern, stellte Faraday einen Apparat zusammen, der in Fig. 73 schematisch angedeutet ist: Eine Gabel *A*, eine große und eine kleine Kugel tragend, war mit dem Conductor der Maschine in Verbindung gesetzt; eine ganz gleiche Gabel ableitend berührt; die kleine Kugel einer jeden Gabel stand der großen der andern gegenüber. Die Zwischenräume zwischen *n* und *o* waren gleich. War der Conductor negativ, so ging die Entladung stets bei *n* vor sich, was nicht auffallen kann, weil die negative Ladung der vertheilenden kleinen Kugel bei *n* jedenfalls stärker ist, als die positive Ladung der vertheilten kleinen Kugel bei *o*. Hätte aber nun, bei positiver Ladung des Conductors die Entladung bei *o* stattgefunden, so hätte man daraus ersehen, daß die schwächere negative Ladung der vertheilten kleinen Kugel bei *o* sich leichter entladet, als die weit stärkere positive Ladung der vertheilenden kleinen Kugel bei *n*, es wäre dieß ein ent-

Fig. 73.



scheidender Beweis für die leichtere Entladung der negativen Elektricität gewesen. Ein so entscheidendes Resultat gaben aber die Versuche nicht; als die Zwischenräume bei *n* und *o* gleich 0,9 Zoll und als sie 0,6 Zoll waren, fand die Entladung stets bei *n* Statt, mochte nun der Conductor positiv oder negativ seyn.

Der Zwischenraum *n* wurde 0,79″, der bei *o* gleich 0,58 Zoll gemacht. War der Conductor positiv, so war die Entladung an beiden Stellen *n* und *o* gleich, war er aber negativ, so geschahen die Entladungen meist bei *n*, was allerdings darauf hindeutet, daß die kleine Kugel im negativen Zustande etwas leichter entladet, als im positiven, doch ist dies Resultat durchaus nicht entscheidend.

Eine ähnliche Vorrichtung, wie die Fig. 73, wurde innerhalb eines Glasgefäßes angebracht, welches mit verschiedenen Gasen gefüllt werden konnte. Bei gleichen Zwischenräumen bei *n* und *o* erhielt Faraday für Kohlensäure ganz entschiedene Resultate. Als der Conductor positiv war, fand die Entladung meist bei *o*, als er negativ war, stets bei *n* Statt, hier war also die negative Entladung entschieden die leichtere; fast eben so entschieden zeigte sich das Uebergewicht der negativen Entladung in Steinkohlengas. In Luft und Sauerstoff zeigt sich die größere Leichtigkeit der negativen Entladung ziemlich zweifelhaft, bei Stickstoff und Wasserstoff zeigte sich sogar einige Wahrscheinlichkeit für das entgegengesetzte Verhalten.

Schon Belli hat Versuche angestellt, aus welchen hervorgeht, daß die negative Elektricität leichter in Luft entweicht, als die positive (P. A. XXXX. 73).

Nachdem er einen Quadranten-Elektrometer auf einen horizontalen isolirten Conductor befestigt und darauf positiv elektrisirt hatte, fand er im Mittel aus drei Versuchen, daß das Elektrometer, um von 20° auf 10° zu sinken, eine Zeit von 10 Minuten brauchte; mit negativer Elektritát waren dagegen, um dieselben 10° zu durchsinken, nur 4,5 Minuten erforderlich.

81 **Funken in verschiedenen Gasen.** Die Erscheinungen bei den Funken in verschiedenen Gasen sind oft beobachtet und beschrieben worden. Auch Faraday hat Versuche über diesen Gegenstand angestellt und in seiner 12ten Reihe von Experimentaluntersuchungen beschrieben (P. A. XLVII. 536).

Die Gase waren unter dem Druck der Atmosphäre; die Funken schlugen zwischen Messingkugeln über.

In Luft, sagt Faraday, haben die Funken jenes intensive Licht und jene blaue Farbe, welche so bekannt sind; und wenn die übergehende

Elektricitätsmenge nicht groß ist, haben sie oft schwache oder dunkle Stellen in ihrem Lauf.

In Stickgas sind die Funken sehr schön, im Allgemeinen von gleichem Ansehn, wie in Luft, doch entschieden von mehr blauer und purpurrother Farbe, und, wie es Faraday schien, merkwürdig laut.

In Sauerstoff waren die Funken weißer, als in Luft oder Stickgas, doch nicht so glänzend.

In Wasserstoff hatten sie eine feine Carmoisinfarbe; das Geräusch war in diesem Gase sehr schwach.

In Kohlensäure war die Farbe der in Luft ähnlich, doch mit Beimischung von etwas Grün. Die Funken waren von merkwürdig unregelmäßiger Gestalt, mehr als in gemeiner Luft.

In Salzsäuregas war der Funken fast weiß, durch und durch gleich hell, nirgends jene dunklen Stellen zeigend, welche in Luft, Stickgas u. s. w. vorkommen.

In Steinkohlengas war der Funken zuweilen grün, zuweilen roth, zuweilen an einer Stelle grün, an einer andern roth. Auch kommen in der Linie des Funkens sehr plötzlich dunkle Stellen vor.

Die Funken können in weit dichteren Mitteln als die Luft, z. B. in Terpentinöl, Baumöl, Harz, Glas, Wallrath, Wasser ꝛc. erhalten werden.

Büschel. Die wichtigsten thatsächlichen Bemerkungen, welche Faraday in Beziehung auf Büschel gemacht hat, dürften wohl folgende seyn. (P. A. XLVII.) 82

Büschel und Funken gehen allmälig in einander über. (Faraday nennt den elektrischen Lichtbüschel einen Funken gegen Luft.) Macht man den Conductor einer guten Elektrisirmaschine positiv elektrisch, so kann man an einer kleinen, an diesem Conductor befestigten Kugel sehr schöne Uebergänge von Funken und Lichtbüscheln erhalten. Die von van Marum (Beschreibung der großen Maschine im Taylor'schen Museum; deutsche Uebersetzung von 1786. Tab. III. Fig. 1), Harris (phil. Trans. 1834 pag. 243) und andern gelieferten Abbildungen langer und kräftiger Funken zeigen auch dieselben Erscheinungen (1448) (nämlich eine Verästelung des Funkens, durch welche eben der Uebergang zum Büschel gemacht wird).

Wenn von einem isolirten Leiter, der mit dem positiven Conductor der Elektrisirmaschine verbunden ist, ein 0,3 Zoll dicker Metallstab abwärts von der Maschine hervorragt, dessen Ende abgerundet oder mit einer kleinen Kugel versehen ist, so giebt er gewöhnlich gute Luftbüschel, oder wenn die Maschine nicht in rechter Wirksamkeit ist, läßt sich die Bildung der Büschel durch verschiedene Mittel befördern; so kann man die Hand oder

irgend eine große leitende Fläche jenem Ende nähern, oder man kann das Ende kleiner und von schlecht leitender Substanz, z. B. Holz nehmen, oder von dem Conductor der Maschine auf einen zweiten, welcher das büschelgebende Ende trägt, die Elektricität in Funken übergehen lassen, oder endlich die Luft um das Stabende verdünnen (1425).

Daß der Büschel keine continuirliche Entladung sey, geht schon daraus hervor, daß man allmälige Uebergänge von Funken in Büscheln nachweisen kann. Bei richtigem Größenverhältniß der kleinen Kugel zu der Kraft der Maschine erhält man Büschel, in welchen man unmittelbar sieht, daß er aus rasch einander folgenden stark verästelten Funken besteht; wirkt nun die Maschine noch kräftiger, oder setzt man bei unveränderter Wirksamkeit der Maschine eine noch kleinere Entladungskugel auf, so erhält der Büschel ein mehr gleichförmiges Ansehn, welches Faraday sehr gut mit folgenden Worten beschreibt: »Ein kurzer kegelförmiger heller Theil schießt geradezu von der Mitte des Knopfes aus, und breitet sich in einem kleinen Abstande von der Kugel plötzlich in einen breiten Büschel von blassen Zweigen aus, die in zitternder Bewegung sind, begleitet von einem leisen knisternden Geräusche (1426).

Auf den ersten Blick scheint ein solcher Büschel zusammenhängend zu seyn, allein Wheatstone hat gezeigt, daß er aus einer Reihe intermittirender Entladungen besteht (P. A. XXXIV. 469), was sich wohl bei dem allmäligen Uebergang von Funken in Büschel erwarten ließ. Faraday giebt eine ganz einfache Methode an, die continuirlich scheinenden Büschel in seine elementaren Theile ohne Hülfe des Wheatstone'schen rotirenden Spiegelapparates zu zerlegen, er sagt nämlich: wenn man das Auge nicht durch eine Bewegung des Kopfes, sondern des Augapfels selbst rasch quer durch die Richtung des Büschels führt, indem man standhaft erst 10 bis 15 Grad darüber und dann eben soviel darunter wegsieht, so lös't sich der allgemeine Büschel in eine Anzahl besonderer Büschel auf (1427). Mir hat diese Zerlegungsmethode nicht recht gelingen wollen.

Bei Anwendung einer kleineren Kugel wird der allgemeine Büschel kleiner, und das Geräusch, obwohl schwächer, doch continuirlicher. Bei Auflösung in seine elementaren Bestandtheile zeigen sie sich dann in weit kürzern Intervallen auftretend

Bei Anwendung eines Drahtes mit rundem Ende wird der Büschel noch kleiner, aber immer noch in successiven Entladungen trennbar. Das Geräusch, obwohl schwächer, wird höher im Klang und ein deutlicher musikalischer Ton.

In der That entspringt das Geräusch aus dem wiederholten Laut einer jeden einzelnen Entladung, und da diese unter gewöhnlichen Umständen in fast gleichen Zwischenräumen auftreten, so entsteht ein bestimmter Ton,

dessen Höhe mit vermehrter Schnelligkeit und Regelmäßigkeit der Entladung steigt.

Werden immer dünnere Drähte angewandt, so werden immer kleinere Lichtbüschel erhalten, bis sie endlich kaum noch als Büschel erkannt werden können. So lange indessen noch ein Geräusch gehört wird, läßt sich die Entladung auch durch das Auge als intermittirend erkennen; sobald das Geräusch verschwindet, wird das Licht continuirlich, der Büschel geht in ein Glimmen über.

Für die, welche nicht gewohnt sind, das Auge in der oben beschriebenen Weise zu gebrauchen, ist Wheatstones Apparat mit dem rotirenden Spiegel anzuwenden. Ein anderes treffliches Verfahren (den Büschel zu zerlegen) besteht darin, daß man den Lichtbüschel am Ende eines Stabes erzeugt, den man in der Hand dem Conductor der Maschine gegenüber hält und darauf rasch von einer Seite zur andern bewegt, während das Auge ruhig bleibt (1428 — 1433).

Büschel in verschiedenen Gasen. Die Versuche über Büschel in ver- 83
schiedenen Gasen stellte Faraday mit Messingstäben an, die ungefähr ¼ Zoll dick waren und deren zugerundete Enden sich in einer das Gas enthaltenden Glaskugel von 7 Zoll Durchmesser einander gegenüberstanden. Der eine dieser Stäbe war mit dem Conductor verbunden, der andere ableitend berührt. (P. A. XLVII. 553.)

Luft. — Unter gewöhnlichem Druck sind in Luft schöne positive Büschel von dem wohlbekannten Purpurlicht leicht zu erhalten. In verdünnter Luft sind die Verzweigungen sehr lang und die Kugel ausfüllend, das Licht ist sehr stark und von schöner Purpurfarbe, zuweilen mit einem Stich ins Rosenrothe.

Sauerstoff. — Unter gewöhnlichem Druck ist der Büschel sehr dicht und zusammengedrückt, von matt weißlicher Farbe. In verdünntem Sauerstoff sind Gestalt und Ansehen besser, die Farbe etwas purpurn, doch alle Eigenschaften sehr ärmlich in Vergleich zu denen in Luft.

Stickstoff giebt an der positiven Fläche die Büschel weit leichter als irgend ein anderes Gas, sie sind in Gestalt, Licht und Farbe fast immer schön, in verdünntem Stickgas sogar herrlich; sie übertreffen, was entwickelte Lichtmenge betrifft, die Entladungen in jedem andern Gase.

Wasserstoff giebt unter gewöhnlichem Druck einen besseren Büschel als Sauerstoff, doch keinen solchen wie Stickstoff; die Farbe ist grünlich. In verdünntem Wasserstoff sind die Verzweigungen, was Gestalt und Deutlichkeit betrifft, sehr schön, aber blaß von Farbe; mit einem weichen sammetartigen Ansehn und gar nicht gleich denen im Stickgas. Bei höchst verdünntem Zustand des Gases ist die Farbe des Lichtes ein blasses Graugrün.

Steinkohlengas. — Die Büschel sind etwas schwierig zu erzeugen; sie sind kurz und stark, gewöhnlich von grüner Farbe. In verdünntem Steinkohlengas sind die Formen besser, aber das Licht ist sehr schwach und die Farbe grau.

Kohlensäure liefert unter gewöhnlichem Druck sehr ärmliche Büschel. In verdünnter Kohlensäure ist der Büschel besser von Gestalt, doch schwächer an Licht, von matt grünlicher oder purpurrother Farbe.

Salzsäuregas. Unter gewöhnlichem Druck hält es schwer, einen Büschel in diesem Gas zu bekommen. Bei allmäliger Vergrößerung des Abstandes zwischen den zugerundeten Enden verschwinden die Funken plötzlich, wenn der Abstand ungefähr einen Zoll beträgt und die dann noch in der Kugel durch das Gas stattfindende Entladung ist eine ruhige und dunkle. Hin und wieder ist zwar auf Augenblicke ein kurzer Büschel zu erhalten, allein er verschwindet wiederum sehr schnell. Selbst bei Anwendung eines intermittirenden Funkenstroms aus der Maschine erhielt man nur schwierig Büschel und zwar sehr kurze; unterdessen gingen prachtvolle Büschel von verschiedenen Stellen der Maschine in die umgebende Luft über. Beim Verdünnen des Gases ward die Bildung des Büschels erleichtert, allein er war doch von kleiner, untersetzter Gestalt, sehr arm an Licht und sehr ähnlich am positiven und negativen Stabende. Bei noch größerer Verdünnung des Gases werden einige wenige große Verzweigungen von blaßbläulicher Farbe erhalten, die denen im Stickgas äußerst ungleich waren.

84 **Büschel in dichteren Mitteln.** Nicht blos in Luft und Gasen, sondern auch in weit dichteren Mitteln lassen sich elektrische Lichtbüschel erzeugen. Faraday erzeugte sie im Terpentinöl (1452) am Ende eines Drahtes, welcher durch eine Glasröhre in das in einem Metallgefäß enthaltene Oel ging. Der Büschel war jedoch klein und sehr schwierig zu erhalten; die Verzweigungen waren einfach, ausgestreckt und stark von einander divergirend. Das Licht war außerordentlich schwach, seine Wahrnehmung erfordert ein völlig dunkles Zimmer. Wenn sich in der Flüssigkeit einige feste Theilchen, wie Staub oder Seide befanden, so wurden die Büschel leichter erhalten.

85 **Verschiedenheit der positiven und negativen Büschelentladung.** Von dem, was Faraday über diesen Gegenstand sagt, hebe ich Folgendes hervor:

Bei der Büschelentladung in Luft zeigt sich ein großer Unterschied zwischen der positiven und negativen Fläche. Diesen Unterschied bezeichnete man früher so, daß man sagte »eine positiv geladene Spitze gäbe Büschel in der Luft, eine negativ geladene einen

Stern. Dieß ist jedoch nur für schlechte Leiter oder für metallische Leiter wahr, die intermittirend geladen werden. Wenn Metallspitzen frei in die Luft hineinragen, ist das positive und negative Licht im Ansehn nicht so sehr verschieden.

Die Erscheinungen ändern sich mit den Umständen sehr, lassen sich indeß wohl so angeben:

Wenn ein Metalldraht mit rundem Ende in freier Luft zur Bildung der Büschel-Entladung gebraucht wird, so sind die Büschel bei negativer Ladung des Drahtes sehr ärmlich und klein in Vergleich zu denen bei positiver Ladung des Drahtes; oder wenn eine große mit der Elektrisirmaschine verbundene Metallkugel positiv geladen und ihr eine feine unisolirte Metallspitze allmälig genähert wird, so erscheint an dieser, so lange sie in beträchtlichem Abstande ist, ein Stern, der bei der Annäherung gegen die Kugel, obwohl heller werdend, seine Gestalt nicht ändert, bis er dicht an derselben angekommen ist; ist dagegen die Kugel negativ geladen, so erscheint an der Spitze bei bedeutendem Abstand ebenfalls ein Stern, wie zuvor allein bei größerer Annäherung bildet sich an der Spitze ein Büschel, der sich bis zur negativen Kugel ausdehnt und noch näher hört der Büschel auf und es schlagen Funken über.

Wie wir schon oben S. 191. gesehen haben, geht die Funkenentladung schon bei weit geringeren Entfernungen in Büschel über, wenn die Fläche, an welcher die Entladung anfängt (die kleinere Kugel oder das abgerundete Stabende) negativ als wenn sie positiv ist; schreiten wir aber weiter fort in der Reihe der Veränderungen, so finden wir, daß der positive Büschel lange vor der negativen in Glimmen übergeht.

Das Ende eines 0,3 Zoll dicken Messingstabes gab am Conductor frei in die Luft ragend bei negativer Ladung einen kurzen lauten Büschel; sowohl durch das Auge als auch durch das Ohr wurde ermittelt, daß die successiven Entladungen ungleich rascher auf einander folgten, als bei positiver Ladung des Stabes zu gleichem Grade.

Bei positiver Ladung des Stabes war es leicht, durch rascheres Drehen der Maschine den Büschel in ein Glimmen zu verwandlen, allein bei negativer Ladung ließ sich die Umwandlung des Büschels in Glimmen durchaus nicht bewirken.

Eine Spitze gegenüber dem negativen Büschel zeigte einen Stern, und bei größerer Annäherung bewirkte sie zunächst eine Abnahme des negativen Büschels in Gestalt und Geräusch und zuletzt ein gänzliches Aufhören desselben, so daß das negative Ende ruhig und finster ward, und doch noch zu entladen fortfuhr (1469).

Wurde das zugerundete Ende eines dünneren Drahtes dem negativen Büschel genähert, so zeigte es (durch Vertheilung positiv geworden)

bei 8 Zoll Abstand ein ruhiges Glimmen, während der negative Büschel fortbestand. Mehr genähert erhöhte sich der Ton des negativen Büschels, eine schnellere Intermittenz anzeigend; noch näher sandte das positive Ende Verästelungen und deutliche Büschel aus und zugleich zog sich der negative Büschel in seinen Seitenrichtungen zusammen, eine eigenthümliche, schmale längliche Gestalt, wie ein Haarpinsel annehmend; beide Büschel waren gleichzeitig vorhanden, doch verschieden im Ansehen und besonders darin, daß die negativen Entladungen rascher folgten als die positiven. Als zu demselben Versuch ein noch dünnerer positiver Draht gebraucht wurde, erschien zuerst an ihm ein Glimmen und dann ein Büschel, der bei einer bestimmten Entfernung dem negativen ganz gleich wurde (1470).

In Luft ist bekanntlich der positive Büschel der überwiegende. In Stickgas ist er eben so groß und selbst größer als in Luft. In Wasserstoff verliert der positive Büschel etwas von seiner Ueberlegenheit, in dem er nicht so gut ist wie in Stickgas und Luft, während der negative Büschel nicht beeinträchtigt erscheint. In Sauerstoff ist der positive Büschel gedrungen und ärmlich, während der negative nicht verschlechtert scheint; beide sind so gleich, daß das Auge sie häufig nicht unterscheiden kann. In Steinkohlengas sind die Büschel schwierig hervorzubringen und der positive ist nicht viel ausgezeichneter als der negative, weder bei gewöhnlichem noch bei niederm Druck. In Kohlensäure findet diese Annäherung im Charakter ebenfalls Statt. In Salzsäuregas ist der positive Büschel sehr wenig besser als der negative.

86 **Glimmentladung.** (P. A. XLVIII. 424.) Das Glimmen scheint von einer raschen und fast ununterbrochenen Ladung der Luft dicht bei dem Conductor abzuhängen. Niemals vermogte Faraday das Glimmen in sichtbar intermittirende Elementarentladungen zu zerlegen.

Das Glimmen entsteht

1) durch Verkleinerung der ladenden Fläche. Am Ende eines Metallstabs mit stumpfer conischer Spitze läßt sich um so leichter ein phosphorescirendes stetiges Glimmen erhalten, je dünner sie ist;

2) durch Verstärkung der Kraft der Maschine. Zugerundete Enden, welche nur Lichtbüschel geben, wenn die Maschine schwach wirkt, liefern das Glimmen leicht, wenn die Maschine in gutem Gang ist;

3) durch Verdünnung der Luft. Eine Messingkugel von 2½ Zoll Durchmesser, die unter der Glocke einer Luftpumpe vertheilend positiv gemacht wurde, bedeckte sich zum Theil mit einem Glimmen, als der Luftdruck auf 4,4 Zoll verringert worden war. Durch eine geringe Ajustirung ließ sich die Kugel ganz mit diesem Licht bekleiden. Bei Anwen-

bung einer Messingkugel von 1¼ Zoll Durchmesser, die durch eine vertheilende negative Spitze vertheilt positiv gemacht wurde, war die Erscheinung sehr schön. Das Glimmen verbreitete sich über die ganze positive Kugel und nahm allmälig an Helligkeit zu, bis es zuletzt sehr leuchtend war; auch richtete es sich auf, gleich einer schwachen Flamme, von der Höhe eines halben Zolls und mehr.

Das negative Glimmen in der Luft unter gewöhnlichem Druck zu erhalten, ist schwierig; ja es ist noch zweifelhaft, ob der sogenannte negative Stern selbst auf feinen Spitzen nicht ein sehr reducirter, aber noch intermittirender Lichtbüschel oder ein eigentliches Glimmen ist.

In verdünnter Luft läßt sich das negative Glimmen leicht erhalten. Wenn die zugerundeten Enden zweier etwa 0,2 Zoll dicker Metallstäbe in verdünnter Luft etwa 4 Zoll von einander abstehen, dann kann man das Glühen leicht auf beiden Stäben erhalten, und nicht blos an den Enden, sondern noch ein oder zwei Zoll dahinter. Auch eine Kugel ließ sich in verdünnter Luft mit negativem Glimmen bekleiden, sie mogte nun vertheilend oder vertheilt seyn.

Das Glimmen zeigt sich in allen Gasen, welche Faraday bisher untersuchte. Er glaubt es auch in Terpentinöl erhalten zu haben, doch war es jedenfalls sehr matt und gering.

Das Glimmen ist stets von einem Winde begleitet, der entweder von dem glimmenden Theile weg, oder auf ihn zubläst; das erstere ist jedoch das häufigste. Wenn man macht, daß der leichte und regelmäßige Zutritt der Luft zu einem das Glimmen zeigenden Theile gestört oder verhindert wird, so hört das Glimmen auf.

Häufig gelingt es, die Büschel, welche ein Stabende giebt, dadurch in Glimmen zu verwandeln, daß man an diesem Ende die Bildung eines Luftstroms unterstützt.

Dunkle Entladung. Wenn man einem auf dem Conductor der 87
Maschine aufgesteckten abgerundeten Metalldraht einen ähnlichen in einiger Entfernung entgegenhält, so ist es leicht, an beiden Stabenden eine Lichterscheinung zu erhalten, während der Zwischenraum zwischen dem positiven und negativen Licht dunkel bleibt; außer diesen sehr häufig vorkommenden Phänomen macht aber Faraday noch auf einen ganz besonderen Fall dunkler Entladung aufmerksam.

Zwei Messingstäbe von 0,3 Zoll Dicke waren von der gegenüberliegenden Seite her in eine Glaskugel eingelassen und mit ihren Enden in Berührung gebracht; die Luft in der Kugel war stark verdünnt. — Nun wurde eine elektrische Entladung aus der Maschine durch sie hindurchgeleitet, und während diese fortfuhr, wurden die Enden von einander getrennt. Im Moment der Trennung erschien auf dem Ende des negativen

Stabes ein andauerndes Glimmen, während das positive Ende dunkel blieb. Bei Vergrößerung der Entfernung erschien ein purpurfarbener Streif oder Nebel auf dem Ende des positiven Stabes und schritt vorwärts direct auf den negativen Stab los; er verlängerte sich bei Vergrößerung des Zwischenraums, vereinigte sich aber niemals mit dem negativen Glimmen, indem stets ein kurzer dunkler Raum dazwischen blieb. Dieser dunkle Raum von ungefähr $1/_{16}$ bis $1/_{20}$ Zoll war anscheinend unveränderlich in Ausdehnung und Lage in Bezug auf den negativen Stab; auch erlitt das negative Glimmen keine Veränderung. Der Effect war auch gleich, das negative Ende mogte vertheilend oder vertheilt seyn.

Mit Kugeln statt der abgerundeten Stabenden wurden ähnliche Erscheinungen erhalten.

88 **Fortführende Entladung.** Beim Funken, beim Büschel und wohl auch beim Glimmen wird das Di-elektricum durchbrochen, und deshalb nennt Faraday diese Entladungsformen auch die zerreißende Entladung. Bei den Lichtbüscheln und noch mehr beim Glimmen tritt aber noch eine weitere Entladungsform ein, welche sich durch den sogenannten elektrischen Wind kund giebt, und welche darin beruht, daß die Theilchen des Di-elektricums, welche zunächst mit dem geladenen Leiter (also etwa dem elektrischen Stabende) in Berührung sind, eine elektrische Ladung annehmen und in Folge dessen abgestoßen werden, und so die Ladung des Leiters mit fortführend, denselben entladen.

Warum eine Spitze für die Erzeugung solcher Ströme so außerordentlich günstig seyn müsse, ist einleuchtend. An einer solchen Spitze erreicht die Ladung der Luft zuerst die erforderliche Intensität, von ihm weichen die geladenen Theilchen zurück, und die mechanische Kraft, welche sie der Luft einprägt, um einen Strom zu bilden, wird in jeder Hinsicht begünstigt durch die Gestalt und Lage des Stabes, dessen Ende die Spitze ist.

Wenn Staubtheilchen in der Luft schweben, so wird dadurch die Fortführung der Elektricität begünstigt.

Bei Anwendung von Terpentinöl als Di-elektricum läßt sich die Wirkung und der Lauf kleiner leitender fortschaffender Theilchen gut beobachten.

Beim Terpentinöl wurde eine sehr auffallende Erscheinung beobachtet, von der es noch zweifelhaft ist, ob sie von dem Fortführungsvermögen der Theilchen in demselben oder von irgend einer andern Wirkung derselben herrührt. — In einem Glaßgefäße, auf dessen Boden eine große unisolirte Silberscheibe lag, befand sich eine Portion dieses Oels, in welches oben ein elektrisirter Metallstab mit rundem Ende eintauchte. Die Isolation war sehr gut. Als man aber den Stab mit einem daran hängenden Tropfen Gummiwasser eintauchte und dann elektrisirte, strömte das Gummiwasser sogleich in feinen Fäden fort und zerstreute sich rasch im Ter-

pentinöl. Während der Zeit, daß vier Tropfen sich auf diese Weise mit dem Di-elektricum vermengt hatten, hatte das Oel größtentheils sein Isolationsvermögen verloren und die Flüssigkeit war schwach getrübt. Auf bloße Filtration durch Papier erlangte es seine frühere Klarheit wieder und isolirte nun so gut wie vorher. Leitende flüssige Enden statt starrer Spitzen erläutern sehr schön die Bildung von Strömen, so wie deren Effecte und Einflüsse auf Erhöhung der Zustände, unter denen sie begonnen. Es sey das zugerundete Ende eines ungefähr 0,3 Zoll dicken Stabes in freier Luft abwärts gerichtet, es sey amalgamirt und es hänge daran ein Tropfen Quecksilber. Nun elektrisire man es kräftig. Das Quecksilber wird das Phänomen des Glimmens zeigen, ein Luftstrom wird längs des Stabes fortfließen und aus dem Quecksilber gerade heruntergehn. Die Gestalt des Metalltropfens wird dadurch etwas geändert, er wird etwas verlängert, an den Seiten also wird seine Krümmung etwas vermindert, während die Krümmung am unteren Ende etwas zunimmt.

Fig. 74.



Man nehme nun statt des Quecksilbertropfens einen Tropfen starker Chlornatriumlösung. Bei Elektrisirung desselben wird wohl ein Theil zerstreut, allein wenn die Elektricität nicht zu stark ist, bleibt das meiste und bildet einen conischen Tropfen (Fig. 74), begleitet von einem starken Winde. Wenn Glimmen da ist, hat der Tropfen eine glatte Oberfläche, bildet sich aber ein kurzer schwacher Büschel, so ist eine kleine zitternde Bewegung in der Flüssigkeit sichtbar.

Fig. 75.



Mit einem Wassertropfen waren die Erscheinungen von gleicher Art, am besten erhielt man sie, wenn eine Portion Gummiwasser oder Syrup an einer Kugel hafteten, Fig. 75. Drehte man die Maschine langsam, so bildete sich ein schöner, großer, ruhiger, conischer Tropfen mit concavem Profil und kleinem zugerundetem Ende, an dem das Glimmen erschien, während von der Spitze des Kegels ein steter Wind ausging, von hinreichender Stärke, um die Oberfläche von gegenübergehaltenem unisolirtem Wasser herabzudrücken. Drehte man die Maschine rascher, so wurde ein Theil des Wassers fortgetrieben. Der kleine zugespitzte Rückstand war etwas rauh auf der Oberfläche und man hörte das Geräusch successiver Büschel-Entladungen. Bei noch mehr Elektricität ward noch mehr Wasser zerstreut; das was zurückblieb, ward wechselsweise verlängert und zusammengezogen; man hörte starke Büschel-Entladung. Wenn Wasser von unten her dem Tropfen genähert wurde, zeigte es nicht mehr den regelmäßigen starken, zusammengezogenen Luftstrom wie zuvor; und wenn die Entfernung

eine solche war, daß Funken überschlugen, ward das Wasser darunter eher angezogen als fortgestoßen und der Luftstrom hörte auf.

Daß der Tropfen, wenn er von Wasser oder einer besser leitenden Flüssigkeit ist, hauptsächlich durch den Luftstrom seine Kegelgestalt bekommt, läßt sich folgendermaßen zeigen. Man halte eine scharfe Spitze unter den conischen Tropfen, sogleich verliert er seine Kegelform, zieht sich zusammen, wird rund; der Luftstrom aus ihm hört auf und wird durch einen Strom aus der Spitze ersetzt, welcher, wenn sie dem Tropfen nahe genug gehalten wird, denselben seitwärts bläst.

Tropfen von schlechteren Leitern, wie Oel oder Terpentinöl, werden zu Fäden ausgesponnen und fortgeführt, nicht allein weil die auf ihrer Oberfläche dahinstreichende Luft sie wegfegen hilft, sondern auch weil ihre isolirenden Theilchen denselben Ladungszustand wie die Luft annehmen, und da sie unfähig sind, sich gegen die Lufttheilchen in stärkerem Grade zu entladen, wie diese unter sich, so werden sie durch dieselben Ursachen fortgeführt, welche diese wegtreiben. Eine ähnliche Erscheinung mit geschmolzenem Siegellack an einer Metallspitze bildet einen alten und wohl bekannten Versuch.

Ein Tropfen Gummiwasser in der entleerten Glocke der Luftpumpe erlitt bei der Elektrisirung keine merkliche Aenderung seiner Gestalt, was zum Theil von der geringen Stärke der Luftströme, zum Theil daher rühren mag, daß der Spannungszustand der Elektricität auf die Kugel in verdünnter Luft nicht so groß wird, wie in verdichteter.

Damit man mich nicht mißverstehe, sagt Faraday, muß ich bemerken, daß ich den Kegel nicht für alleinig gebildet durch die Luftströme ansehe. Wenn der Tropfen aus schlecht leitender Substanz besteht, rührt ein Theil des Effects von dem elektrisirten Zustand der Theilchen her.

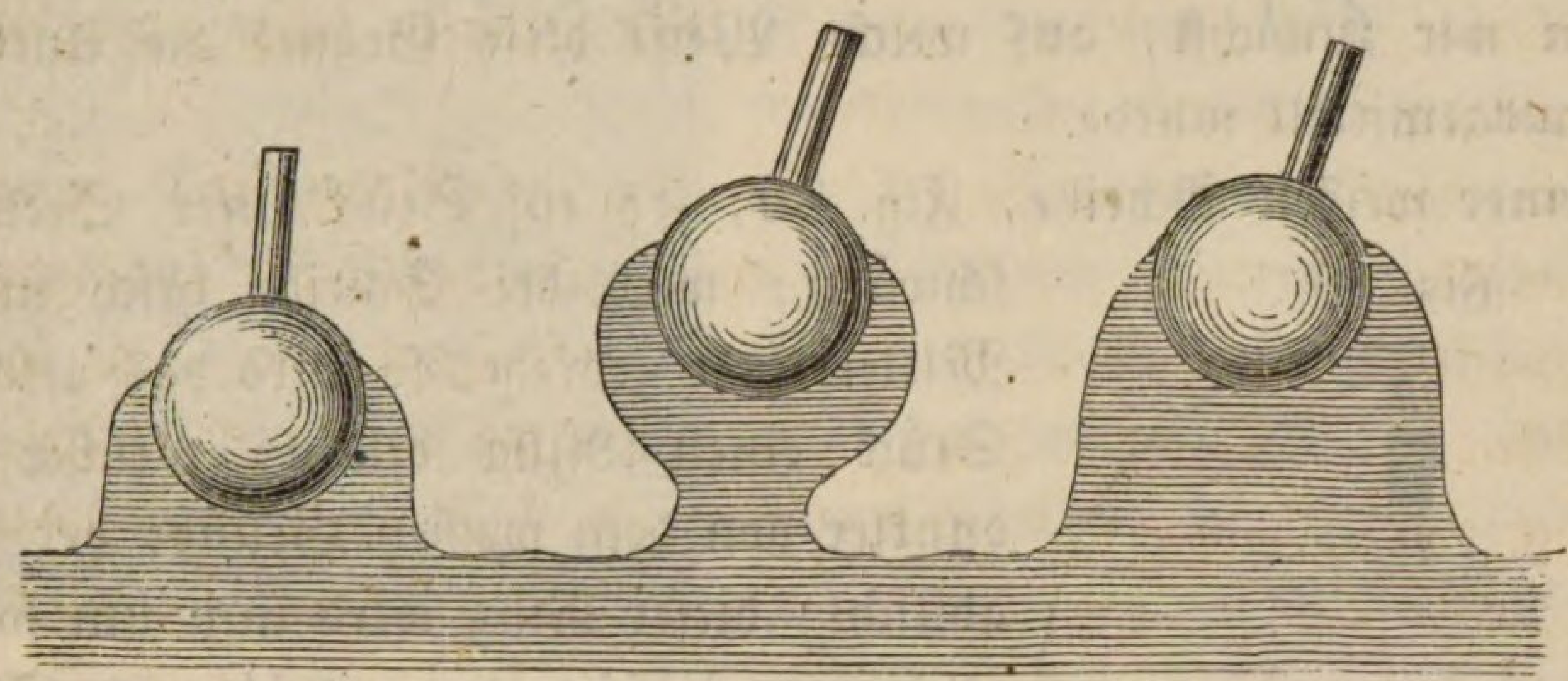
In dichten isolirenden Di-elektricis zeigen die Ströme einen außerordentlichen Grad von mechanischer Kraft. Bringt man z. B. wohl rectificirtes Terpentinöl in ein Glasgefäß, taucht an verschiedenen Orten in dasselbe zwei Drähte, von denen der eine mit dem Conductor der Maschine verbunden, der andere ableitend berührt ist, und dreht man die Maschine, so wird die Flüssigkeit durch ihre ganze Masse hin in heftige Bewegung gerathen, während sie zugleich an dem Draht der Maschine 2, 3, 4 Zoll aufsteigt und von ihm in Strahlen in die Luft schießt.

Ein Tropfen Quecksilber, der an einer amalgamirten Messingkugel hing, behielt seine Gestalt in der Luft fast unverändert, wenn er aber in Terpentinöl getaucht ward, so wurde er sehr spitz und es konnten sogar Quecksilbertheilchen ausgesponnen und fortgeführt werden. Die Gestalt des flüssigen Metalls war gerade so wie die von Syrup in Luft.

Gießt man auf den Boden eines Gefäßes Quecksilber, welches man mit dem Conductor der Elektrisirmaschine verbindet, gießt man darauf eine an-

dere Flüſſigkeit, etwa Terpentinöl, ſo beobachtet man, wenn man einen mit einer Kugel von $^3/_4$ Zoll Durchmeſſer endigenden Stab in die Flüſſigkeit eintaucht, ſehr auffallende Erſcheinungen. Zieht man die Kugel wieder in die Höhe, ſo daß ſie beinahe zum Niveau der Flüſſigkeit heraustritt, ſo bleiben große Portionen derſelben an ihr haften, Fig. 76. Auch bei weiterer Hebung der Kugel bleibt ſie noch durch eine Säule Terpentinöl mit dem

Fig. 76. Fig. 77. Fig. 78.



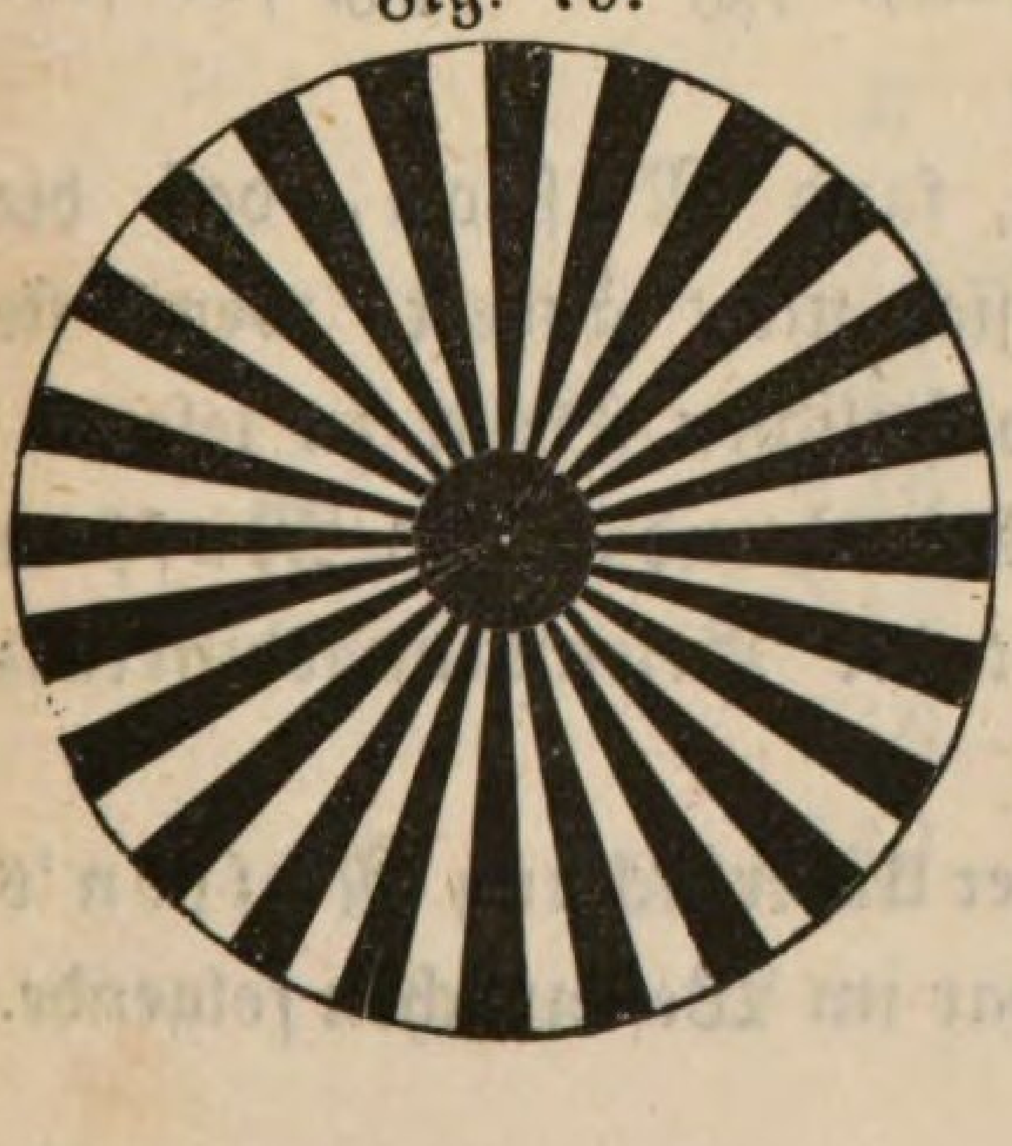
Gefäße verbunden Fig. 77. Setzt man die Maſchine in größere Thätigkeit, ſo wird das Gehobene maſſiger und ſteigt auch höher, dabei die Geſtalt Fig. 78 annehmend.

Bei dieſen Erſcheinungen zeigt ſich ein ſehr merkwürdiger Umſtand, nemlich, daß eine poſitiv geladene Kugel eine weit höhere und breitere Säule hebt als eine negativ geladene.

Geſetze der Lichtſtärke des elektriſchen Funkens. Unter dem 89
Titel: »Etudes de photometrie électrique, publicirt Maſſon im 14ten Bande (1845, 3ter Theil) der annales de chimie et de physique p. 129 ſeine Unterſuchungen über die Lichtſtärke des elektriſchen Funkens.

Die gewöhnlichen Photometer laſſen ſich nur für permanente und nicht für momentane Lichtquellen in Anwendung bringen, zur Meſſung der Lichtſtärke des elektriſchen Funkens, welcher nur eine momentane Erleuchtung giebt, mußte alſo Maſſon auf ein neues photometriſches Princip ſinnen. In der That hat er ſeine Aufgabe auf eine ſehr ſinnreiche Weiſe gelöſt.

Fig. 79.



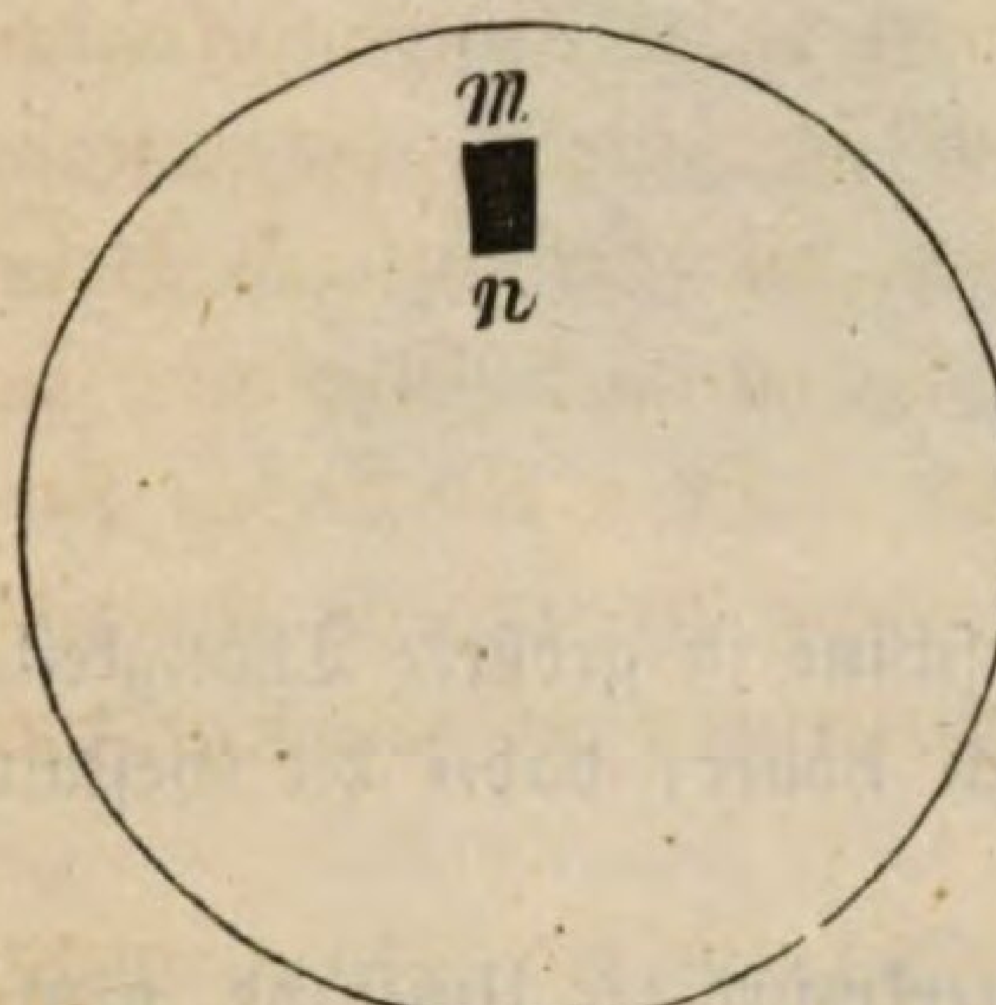
Wenn eine Scheibe, welche in gleichgroße, abwechſelnd weiße und ſchwarze Sectoren getheilt iſt, wie Fig. 79, ſo wird man bei raſcher Rotation derſelben die einzelnen Sectoren nicht unterſcheiden können, wenn die Scheibe durch eine conſtante Lichtquelle beleuchtet iſt; wird aber außerdem die Scheibe momentan durch einen elektriſchen Funken erleuchtet, ſo werden die Sectoren der rotirenden Scheibe wieder ſichtbar, und zwar um ſo mehr, je heller

der elektrische Funken ist. Schwächt man aber die Erleuchtung durch den elektrischen Funken allmälig, während die Erleuchtung durch die beständige Lichtquelle stets dieselbe bleibt, so wird man zu einem Punkt kommen, wo die Sectoren eben aufhören unterscheidbar zu seyn, und in diesem Falle ist die Stärke der Erleuchtung durch den elektrischen Funken ein bestimmter Bruchtheil der Erleuchtung durch die constante Lichtquelle, dessen Größe von der Individualität des betrachtenden Auges abhängt.

Sehen wir zunächst, auf welche Weise diese Gränze die Unterscheidbarkeit ausgemittelt wurde.

Auf einer weißen Scheibe, Fig. 80, sey ein Stück eines Sectors geschwärzt; wird die Scheibe rasch um ihren Mittelpunkt gedreht, so wird das geschwärzte Stück einen Ring bilden, welcher etwas dunkler von dem weißen Grunde der Scheibe absticht; dieser Ring wird nun um so blasser erscheinen, je schmäler das schwarze Sectorenstück ist, und wenn man den Versuch mit einer ganzen Reihe solcher Scheiben anstellt, von denen jede folgende ein etwas schmäleres schwarzes Sectorenstück *m n* hat, so wird man endlich zu einer solchen kommen, bei welcher der dunkle Ring eben aufhört, unterscheidbar zu seyn.

Fig. 80.



Nehmen wir an, dies sey der Fall, wenn die Breite des Sectorenstücks $1/_{100}$ vom ganzen Kreisumfang beträgt, so ist klar, daß die Helligkeit des Ringes um $1/_{100}$ der Helligkeit der Scheibe geringer ist, als diese, das Auge kann also in diesem Fall eine Erleuchungsdifferenz von $1/_{100}$ nicht mehr unterscheiden.

Masson machte seine Versuche mit Scheiben, auf denen die Breite des Sectorenstücks $1/_{50}$, $1/_{60}$, $1/_{70}$, $1/_{80}$, $1/_{90}$, $1/_{100}$, $1/_{110}$, $1/_{120}$ des ganzen Umfangs betrug, und fand mit Hülfe derselben für schwache Augen, daß eine Erleuchtungsdifferenz von $1/_{50}$ bis $1/_{70}$ die Gränze des Wahrnehmbaren ist. Bei gewöhnlichen Augen ist diese Gränze $1/_{80}$ bis $1/_{100}$, für sehr gute Augen $1/_{100}$ bis $1/_{120}$.

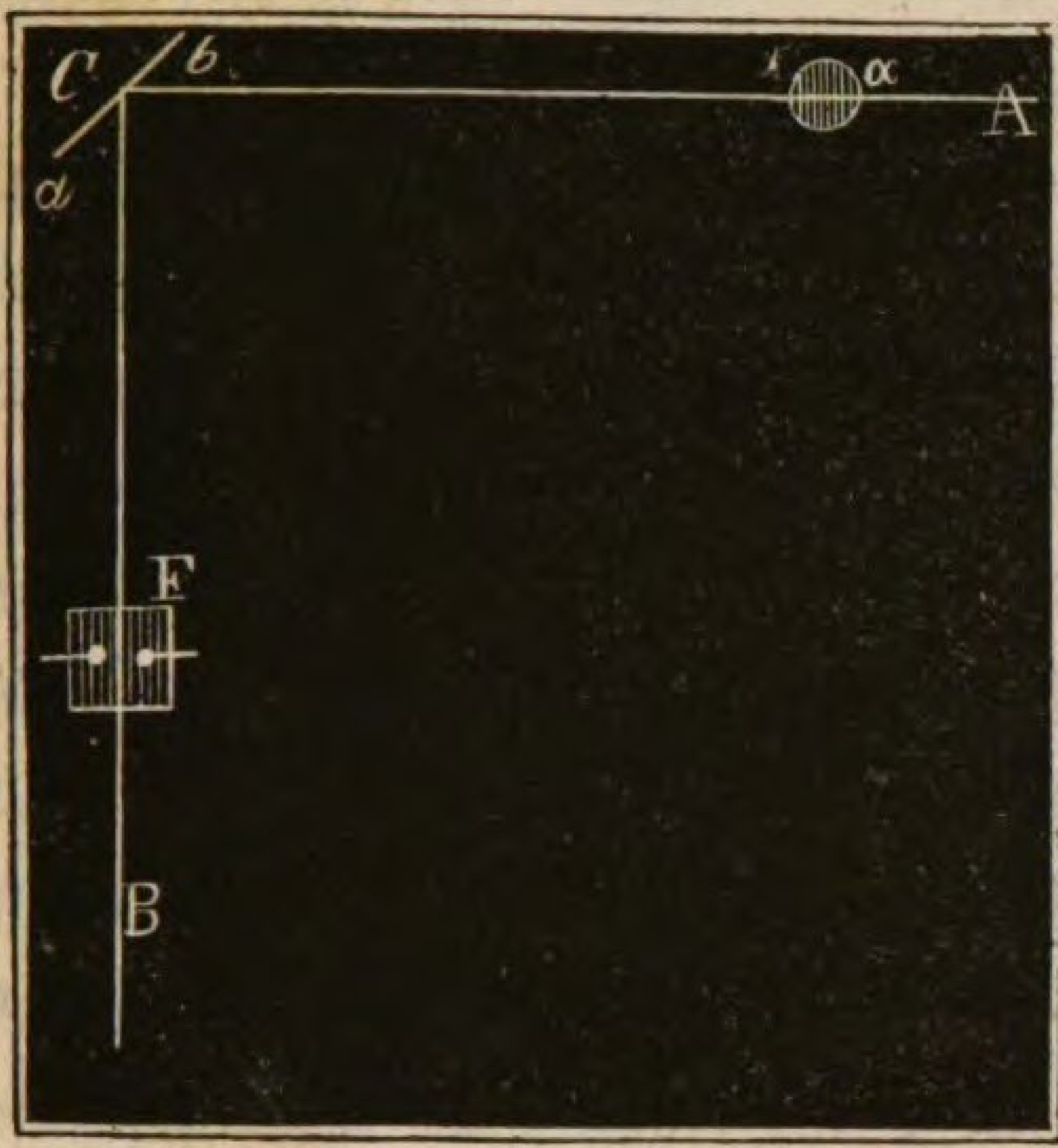
Die Intensität der Erleuchtung variirend, fand Masson, daß die Sensibilität für ein und dasselbe Individuum sich nicht ändert, wenn sie (die Erleuchtung) nur hinreichend ist, um gewöhnlichen Druck zu lesen.

Die rotirende Scheibe mit farbigem Lichte beleuchtend, fand Masson ferner, daß die Gränze der Unterscheidbarkeit der Beleuchtungsdifferenz von der Farbe unabhängig ist.

Gehen wir nun zum eigentlichen Gegenstand der Untersuchung Masson's selbst über. Die Anordnung seiner Versuche war im Wesentlichen folgende.

Eine rotirende Scheibe ab Fig. 81 (die Rotation war durch ein Uhrwerk hervorgebracht), welche in der Weise in weiße und schwarze Sectoren getheilt war, wie Fig. 79 zeigt, war in der Richtung von AC her durch das constante Licht einer Lampe L erleuchtet, welche in der Richtung dieser Linie verschiebbar war. Diese Lampe befand sich in einem schwarzen Kasten, so daß sie nur durch eine Röhre ihr Licht auf die rotirende Scheibe werfen konnte. In der Richtung der Linie BC war ein Funkenmikrometer F verschiebbar. Die eine Kugel dieses Funkenmikrometers war mit der oberen, die andere Kugel desselben mit der unteren Belegung einer horizontalen Glastafel in leitender Verbindung; der Funken schlug allemal zwischen den beiden Kugeln des Funkenmikrometers über, sobald die Ladung der Scheibe eine gewisse Gränze erreicht hatte, welche von der Entfernung der Kugeln des Funkenmikrometers abhing.

Fig. 81.



Zunächst überzeugte sich Masson davon, daß auch für das momentane Licht des elektrischen Funkens das Gesetz gilt, daß die Stärke der Erleuchtung im umgekehrten Verhältniß des Quadrats der Entfernung steht.

Bei einer bestimmten Entfernung dieser Lampe von der Scheibe $a\ b$, wurde der Funkenmikrometer allmälig von der Scheibe entfernt, bis beim Ueberschlagen des Funkens die Sectoren der rotirenden Scheibe eben nicht mehr unterscheidbar waren, und dann die Entfernung des Funkens von der Scheibe bestimmt. Nun wurde die Lampe weiter fortgerückt, und derselbe Versuch mit unveränderter Entfernung der Kugeln des Funkenmikrometers wiederholt. Die folgende Tabelle giebt die Resultate einer solchen Versuchsreihe. Z bedeutet die Entfernung der Lampe, Y die entsprechende Entfernung des Funkenmikrometers von der Mitte der Scheibe $a\ b$.

Z	Y	$\frac{Z}{Y}$
540mm	407mm	1,32
640	489	1,30
740	569	1,30
840	648	1,29
940	737	1,28
1040	826	1,25
	Mittel	1,29.

Da Z und Y stets in gleichem (wenigstens sehr nahe gleichem) Verhältniß wachsen, so ist klar, daß mit wachsender Entfernung die Erleuchtung für beide Lichtquellen nach demselben Gesetze abnimmt, daß also die Erleuchtung durch einen elektrischen Funken ebenfalls dem Quadrat der Entfernung von demselben umgekehrt proportional ist.

Dasselbe Resultat gaben mehrere andere Versuchsreihen, welche Masson ebenfalls in Tabellen zusammengestellt hat; hier wie im Folgenden mag es genügen, zur Begründung eines jeden Gesetzes nur eine der vielen tabellarisch zusammengestellten Versuchsreihen anzuführen.

Die Werthe von Y, wie sie in den Tabellen angeführt sind, sind stets das Mittel aus zwei Versuchen. Nachdem einmal die Entfernung Y des Funkenmikrometers von der rotirenden Scheibe ermittelt worden war, bei welcher eben die Sectoren nicht mehr unterschieden werden können, wurde der Funkenmikrometer der Scheibe wieder bedeutend genähert, und dann abermals bis zum Verschwinden der Sectoren entfernt. Die beiden so ermittelten Werthe von Y differiren in den verschiedenen Versuchsreihen höchstens um ein Centimeter, ein Beweis für die Schärfe, welche diese Beobachtungsmethode zuläßt.

90 **Variation der Lichtstärke des Funkens bei veränderter Schlagweite.** Ueber diesen Punkt stellte Masson ebenfalls mehrere Versuchsreihen an; die folgende Tabelle enthält die Resultate einer derselben.

X	Y	$\frac{Y}{X}$
$2{,}5^{mm}$	318^{mm}	127
3,5	447	127
4,5	572	127
5,5	697	126
6,5	830	127
7,5	957	127
		Mittel 127.

X bezeichnet hier die Schlagweite, Y die entsprechende Entfernung des Funkens von der rotirenden Scheibe, bei welcher aber die Sectoren derselben nicht mehr unterschieden werden können, vorausgesetzt, daß die constante Beleuchtung der rotirenden Scheibe von *A C* her während der ganzen Versuchsreihe unverändert bleibt.

Aus der obigen Tabelle übersieht man leicht, daß die Schlagweite und die entsprechende Entfernung des Funkens von der rotirenden Scheibe stets in gleichem Verhältniß geändert werden müssen, wenn die Beleuchtung der Scheibe dieselbe bleiben soll. Also bei doppelter und dreifacher Schlagweite muß der Funken 2 mal, 3 mal so weit von der Scheibe entfernt werden, wenn ihre Erleuchtung durch die Funken ungeändert bleiben soll.

Durch Verdoppelung der Entfernung wird die Intensität der Erleuchtung 4 mal schwächer; sie bleibt jedoch ungeändert, wenn auch die Schlagweite verdoppelt wird, folglich muß bei doppelter Schlagweite die Lichtstärke des Funkens 4 mal größer seyn. Für n fache Entfernung ist die Erleuchtung durch den elektrischen Funken n^2 mal schwächer; sie bleibt aber ungeändert, wenn auch die Schlagweite n mal größer gemacht wird, es muß also bei n facher Schlagweite die Lichtstärke des Funkens n^2 mal größer seyn, oder in Worten:

Die Lichtstärke des elektrischen Funkens ist dem Quadrat der Schlagweite proportional.

Einfluß der Größe und Form der Condensatorfläche. Die Gestalt des Condensators (d. h. der auf beiden Seiten mit Metallbelegungen versehenen Glastafeln, deren Entladungsschlag durch den Funkenmikrometer hindurchgeht) hat keinen Einfluß auf die Lichtstärke des elektrischen Funkens, wenn nur die Flächenausdehnung der Belegung dieselbe bleibt. Bedeutenden Einfluß übt dagegen die Größe der Condensatorplatten aus. 91

Bei unveränderter Entfernung des constanten Lichtes, bei unveränderter Schlagweite und unveränderter Dicke der Glastafel wurde die Oberfläche der Belegungen geändert und jedesmal die entsprechende Entfernung des Funkens von der rotirenden Scheibe beobachtet, für welche die Sectoren eben aufhören, bemerklich zu seyn. Die Resultate einer solchen Versuchsreihe sind in folgender Tabelle zusammengestellt:

Oberfläche	Verhältniß	Y	Y²	Verhältniß
□mm		mm	□mm	
22500	1,77	314	98596	1,78
40000		420	176400	
60000	2,66	514	264196	2,67

Die erste Vertikalreihe enthält die Größe der Oberflächen der Belegung, die zweite giebt das Verhältniß der ersten und zweiten und dann das Verhältniß der ersten zur dritten der besagten Oberflächen an. Die dritte Reihe giebt die entsprechenden Y, die vierte die Quadrate dieser Entfernungen an, die letzte Vertikalreihe endlich enthält das Verhältniß des ersten Y² zum zweiten, und des ersten zum dritten.

Aus der Vergleichung der zweiten und fünften Vertikalreihe ergiebt sich nun ganz einfach, daß

$$\frac{F}{Y^2} = n \; . \; . \; . \; . \; 1)$$

d. h., daß der Flächeninhalt F der Belegung des Condensators zu dem Quadrat der Entfernung Y in einem constanten Verhältniß stehen muß,

wenn die Erleuchtung der Scheibe ab durch den elektrischen Funken stets gleich groß bleiben soll.

Nun ist aber bei gleichbleibender Erleuchtung der Scheibe

$$J = cY^2,$$

wenn J die Lichtintensität des Funkens und n einen constanten Factor bezeichnet, oder auch

$$\frac{J}{Y^2} = c \; . \; . \; . \; 2).$$

Durch Combination der Gleichungen 1) und 2) ergiebt sich aber

$$J = \frac{N}{C} F.$$

oder in Worten: **es ist die Lichtstärke des elektrischen Funkens dem Flächeninhalte der Belegungen proportional.**

92 **Verhältniß zwischen der Intensität des elektrischen Funkens und der Dicke des Condensators.** Bei gleicher Oberfläche der Belegungen wurde die Dicke der Glastafel geändert; und für jede derselben die Entfernung Y ermittelt, für welche eben die Sectoren aufhören, bemerklich zu seyn, während natürlich die Beleuchtung durch die Lampe ungeändert blieb. Die folgende Tabelle enthält einige der erhaltenen Resultate:

	Decke der Glastafel.	Quadratwurz. aus der Dicke.	Y
1	1,31 mm	1,14	1044 mm
2	1,83	1,35	904
3	2,51	1,57	775

Nun ist $\frac{135}{114} = 1{,}18$ und $\frac{1044}{904} = 1{,}15$, d. h. beide Quotienten sind sehr nahe gleich oder $\frac{\sqrt{d''}}{\sqrt{d'}} = \frac{Y'}{Y''}$ ferner ist $\frac{157}{114} = 1{,}27$ und $\frac{1044}{775} = 1{,}35$, also auch nahezu $\frac{\sqrt{d'''}}{\sqrt{d'}} = \frac{Y'}{Y'''}$ und endlich ist $\frac{157}{135} = 1{,}16$ und $\frac{904}{775} = 1{,}17$, also $\frac{\sqrt{d'''}}{\sqrt{d''}} = \frac{Y''}{Y'''}$, oder in Worten: die Werthe von y verhalten sich nahezu umgekehrt, wie die Quadratwurzeln der entsprechenden Glasdecken, d. h.

$$\sqrt{d} = \frac{n}{Y}$$

oder:

$$d = \frac{p}{Y^2}$$

es ist aber ferner $J = cy^2$, folglich

$$d \times J = c \cdot p$$

oder

$$J = \frac{cp}{d}$$

d. h. die Intensität des Funkens ist der Dicke des Condensators umgekehrt proportional.

Die übrigen Versuche, welche Masson über diese Frage anstellte, stimmen meist weniger gut mit der eben entwickelten Beziehung überein. Er schreibt dieß dem Umstande zu, daß er mit seinen Mitteln die Glasdicke nicht genau genug habe messen können und daß die verschiedenen Condensatoren wohl nicht gleiches »Condensationsvermögen« haben mögen.

Einfluß der Natur der Pole auf den elektrischen Funken. Masson fand, daß die der Funken etwas intensiver ist, wenn man unter 93
sonst ganz gleichen Umständen denselben zwischen Blei-, Zink- und Zinnkugeln überschlagen läßt, als wenn die Kugeln (natürlich bei gleicher Größe) von Kupfer, Messing oder Eisen sind. Masson meint, daß dieß von der ungleichen Festigkeit der Metalle abhänge. Bei allen Versuchen nämlich zeigen sich Spuren einer Ueberführung des Metalls von einem Pol zum andern; da nun z. B. das Blei weniger fest ist als das Kupfer, so wird bei gleicher Spannung der Elektricität mehr Blei als Kupfer übergeführt werden, der Schließungsbogen befindet sich dadurch unter denselben Umständen, als ob man plötzlich seine Leitungsfähigkeit vermehrt hätte, das Licht muß also lebhafter werden.

Für diese Ansicht spricht der Umstand, daß die Intensität des Funkens sehr bedeutend vermehrt wird, wenn man polirte Messingkugeln mit solchen vertauscht, welche auf der Oberfläche amalgamirt sind, wo offenbar die Ueberführung sehr erleichtert ist.

Der Funken zwischen Bunsen'schen Kohlen ist sehr weiß in der Mitte, röthlich am Rande und hat etwas flammenartiges.

Die Natur des elektrischen Lichtes. Ueber die Natur des elektri- 94
schen Funkens hat man zwei Hypothesen; die erste betrachtet ihn als eine Bewegung, welche dem Lichtäther durch den elektrischen Funken mitgetheilt wird, nach der zweiten Hypothese entsteht das elektrische Licht durch ponderabele Theilchen, welche glühend durch die Elektricität übergerissen werden.

Masson spricht sich mehr für die erste Hypothese aus, wofür auch seine Versuche sprechen, da die Intensität des Funkens keineswegs von der Schmelzbarkeit und Oxydirbarkeit der Kugeln abhängt, wohl aber von der Festigkeit. Würden wegen der geringeren Festigkeit des Metalls mehr Theilchen übergeführt, so wird die Leitungsfähigkeit des Schließungsbogens vermehrt, die-

selbe Elektricitätsmenge also in kürzerer Zeit entladen, wodurch ein lebhafteres Licht erzeugt wird.

Die so eben besprochenen Gesetze der Lichtstärke des elektrischen Funkens sind in der folgenden Formel ausgedrückt

$$J = H \frac{X^2 . s}{Y^2 e} \ldots\ldots 1)$$

wenn J die Lichtstärke des elektrischen Funkens,

X die Schlagweite,

s die Oberfläche des Condensators,

Y die Entfernung des Funkens von der rotirenden Scheibe des Photometers,

e die Dicke des Condensators, und endlich

H einen constanten Factor bezeichnet, welcher von Elementen abhängt, die bis jetzt noch nicht ermittelt sind

Setzt man in der Gleichung 1 $X = p \frac{q}{s}$, was erlaubt ist, da ja Rieß gezeigt hat, daß die Schlagweite der elektrischen Dichtigkeit proportional ist (Seite 96), so kommt

$$J = \frac{m}{y^2} . \frac{q^2}{s^2} s \ldots\ldots 2)$$

wenn man $\frac{Hp^2}{e} = m$, d. h. gleich einem Constanten setzt, was erlaubt ist, so lange man die Dicke e des Condensators nicht ändert.

Die Intensität des elektrischen Lichtes ist $\frac{q^2}{s^2}$ also dem Quadrat der elektrischen Dichtigkeit, oder was dasselbe ist, der Tension der Elektricität und der Oberfläche s des Condensators proportional.

Die Gleichung 1) läßt sich auch so schreiben

$$J = \frac{H}{y^2 e} X s X.$$

Setzt man nun für das letztere X seinen Werth $p \frac{q}{s}$, so kommt

$$J = \frac{pH}{y^2 e} Xq \ldots 3)$$

oder in Worten: die Lichtintensität des Funkens ist der Schlagweite und der elektrischen Quantität proportional.

Nach der Gleichung 2) ist auch

$$J = \frac{m}{y^2} \frac{q^2}{s}$$

oder

$$J = P \frac{q^2}{s}.$$

Wie aber Rieß gezeigt hat, ist

$$W = Q \frac{q^2}{s}$$

die Wärmemenge, welche in einem Drahte frei wird, wenn man durch denselben die auf der Oberfläche s angesammelte Elektricitätsmenge q entladet.

Wenn also ein Entladungsschlag der elektrischen Batterie an einer Unterbrechung der Schließung einen Funken erzeugt, so ist die Lichtstärke desselben proportional der Wärme, welche derselbe Entladungsschlag in einem Drahtstück hervorbringt, welches einen Theil des Schließungsbogens ausmacht.

Am Schlusse seiner Abhandlung schlägt Masson den unter bestimmten Bedingungen erzeugten Funken als photometrische Einheit vor, wodurch es möglich wird, die Intensität der verschiedensten constanten Lichtquellen auf ein gemeinschaftliches Maaß zurückzuführen.

Fünfter Abschnitt.

Der elektrische Geruch.

95 Wenn man sich in der Nähe einer kräftigen Elektrisirmaschine befindet, so beobachtet man, namentlich wenn die Elektricität aus Spitzen ausströmt, oder wenn man eine Reihe von Funken aus dem Conductor überschlagen läßt, einen ganz eigenthümlichen Geruch, den wir der Kürze halber den *elektrischen Geruch* oder *Ozongeruch* nennen wollen. Dieser elektrische Geruch ist höchst wahrscheinlich auch derjenige, den man bei Blitzschlägen beobachtet, und welcher von Leuten, die denselben nicht gehörig zu charakterisiren wissen, als Schwefelgeruch bezeichnet wird. *Schönbein* beobachtete in der Nähe der Stelle, wo ein Blitz eingeschlagen hatte, noch einige Zeit nachher einen entschiedenen *Ozongeruch*.

Bis in die neuere Zeit war man über das Wesen dieses Geruches vollkommen im Dunkeln. Einige Physiker nahmen an, daß dieser elektrische Geruch in einer eigenthümlichen Affection der Geruchsorgane durch die Elektricität beruhe, eine Erklärung, die neben dem, daß sie irrig ist, auch den großen Nachtheil hatte, daß sie eine weitere Untersuchung und Discussion abgeschnitten hat.

Andere stellten die Hypothese auf, der elektrische Geruch rühre von feinen metallischen Theilchen her, welche durch die ausströmende Elektricität mitgerissen würden. Aber auch diese Ansicht ist ganz unzulässig, weil sich mit der Natur der Ausströmungsspitze die Natur des Geruches nicht im mindesten ändert.

Schönbein hat das große Verdienst, diese Frage gleichsam wieder in das Fahrwasser naturwissenschaftlicher Thätigkeit gebracht zu haben. Er hat nachgewiesen, daß der elektrische Geruch einem eigenthümlichen durch die elektrische Ausströmung erzeugten Gase zukomme, welches er *Ozon* nennt. Mit dem größten Eifer hat er Jahrelang die Eigenschaften dieses Ozons erforscht, und wenn es bis jetzt auch noch nicht gelungen ist, das Ozon isolirt darzustellen, so sind doch bereits viele wichtige chemische

und physikalische Beziehungen desselben unzweifelhaft nachgewiesen, und die fernere Untersuchung dieses Gegenstandes verspricht die wichtigsten Entdeckungen auf dem Felde der Chemie.

Die erste Abhandlung Schönbein's über diesen Gegenstand findet sich in den Denkschriften der Münchener Akademie.

Diese Abhandlung ist auch in Poggendorff's Annalen, und zwar im L. Bande pag. 616 abgedruckt.

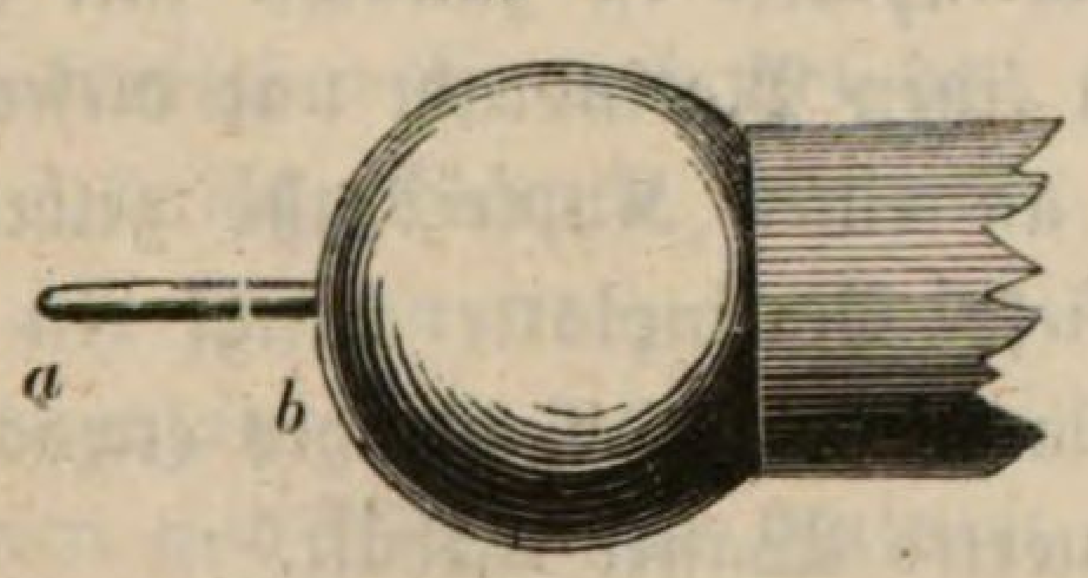
Ueber die Erzeugung des Ozons auf chemischem Wege veröffentlichte Schönbein im Jahre 1844 eine kleine Schrift unter eben diesem Titel, welche in der Schweighäuser'schen Buchhandlung in Basel erschienen ist.

Die wichtigsten Abhandlungen über unsern Gegenstand, welche hierauf folgten, befinden sich in Poggendorff's Annalen; man findet sie im Namenregister zusammengestellt, welches dem LXXV. Bande dieser Annalen angehängt ist.

In diesen Schriften läßt sich der historische Gang der Schönbein'schen Entdeckungen verfolgen; der größeren Uebersichtlichkeit wegen will ich aber diesen historischen Gang verlassen, ich will nicht über den Inhalt der einzelnen Abhandlungen referiren, sondern ich will die wesentlichsten Versuche, welche die Natur und die wichtigsten Beziehungen des Ozons kennen lehren, in der Weise beschreiben, wie Professor Schönbein im Frühjahre 1849 mir dieselben zu zeigen die Güte hatte, und seine Ansichten über die Natur des Ozons, die früheren Phasen übergehend, in der Weise vortragen, wie sie sich jetzt in Folge vieljähriger Untersuchungen gestaltet haben.

Versieht man den Conductor einer Elektrisirmaschine mit einem vorne abgerundeten Drahte *ab*, Fig. 82, von ungefähr 1 Linie Durchmesser, so wird man, während die Maschine gedreht wird, in der Nähe des Drahtendes *a* den eigenthümlichen elektrischen Geruch bemerken. —

Fig 82.



Daß dieser Geruch nicht bloß einer subjectiven Affection der Geruchsorgane zuzuschreiben ist, sondern daß er von einem eigenthümlichen Gase herrührt, ergiebt sich daraus, daß dieses riechende Princip eine Reihe von chemischen und physikalischen Wirkungen hervorbringt, welche mit den chemischen Reactionen und physikalischen Beziehungen anderer Gase die größte Aehnlichkeit haben. Ja es ist Schönbein gelungen, dieses riechende Princip, das Ozon, auf rein chemischem Wege darzustellen und alle Reactionen

mit demselben hervorzubringen, wie man sie an Ausströmungsspitzen beobachtet.

Hält man der Ausströmungsspitze ein Stückchen Papier in der Entfernung von $1/2$ bis 1 Zoll entgegen, welches mit **Jodkaliumkleister** bestrichen ist, so wird dieser Kleister alsbald gebläut.

Um den Jodkaliumkleister zu bereiten, werden 2 Theelöffel voll Stärke, welcher man ein Körnchen Jodkalium zusetzt, mit dem 10fachen Volumen Wasser zu Kleister gekocht.

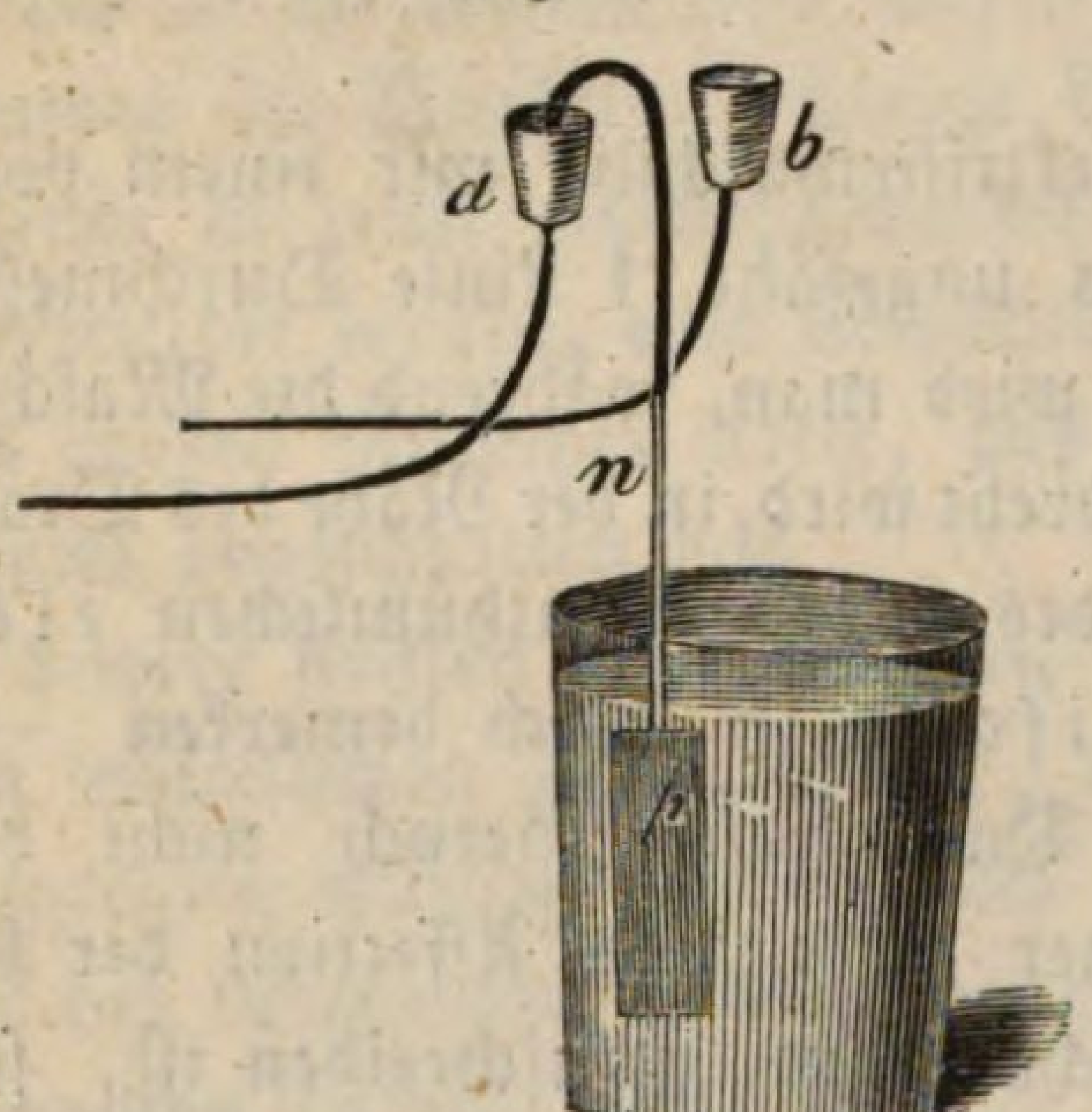
Das Ozon wirkt also auf den Jodkaliumkleister gerade so wie das Chlor, es zersetzt das Jodkalium und das freiwerdende Jod färbt die Stärke blau.

Die Erscheinung, nämlich das Bläuen des Jodkaliumkleisters, findet ganz in derselben Weise statt, mag nun aus der Spitze positive oder negative Elektricität ausströmen; ebenso ist es vollkommen gleichgültig, aus welcher Substanz die Spitze gefertigt ist, wenn nur eine Ausströmung der Elektricität aus derselben stattfindet, wodurch die Ansicht einiger früheren Physiker widerlegt wird, als ob der elektrische Geruch von Metalltheilchen herrühre, welche von der ausströmenden Elektricität mit fortgeführt worden.

Hält man eine Platin- oder Goldplatte der Ausströmungsspitze entgegen, während die Maschine gedreht wird, so wird dieser Platte eine negativgalvanische Polarisation mitgetheilt, die man auf folgende Weise darthun kann.

Die beiden Quecksilbernäpfchen *a* und *b*, Fig. 83, seyen mit den Drahtenden eines Multiplicators in Verbindung. In das Quecksilbernäpfchen *a* ist ein Kupferdraht eingetaucht, an dessen anderem Ende eine Platinplatte *p* befestigt ist (die Platinplatte ist zunächst mit Gold an einen Platindraht und dieser bei *n* an einen Kupferdraht gelöthet). Diese Platinplatte hängt in ein Glasgefäß herab, welches etwas gesäuertes Wasser enthält.

Fig. 83



Nachdem man nun eine ganz ähnlich vorgerichtete Platinplatte eine Zeit lang der aus der Spitze strömenden Elektricität ausgesetzt hat, wird sie ebenfalls in das Wasser des Glasgefäßes eingetaucht; sobald nun der Kupferdraht der zweiten Platinplatte in das Quecksilbernäpfchen *b* eingesenkt wird, entsteht ein bedeutender Ausschlag der Galvanometernadel, und zwar nach einer Rich-

tung, welche anzeigt, daß die dem Ozon ausgesetzt gewesene Platinplatte sich negativ gegen die andere verhält, d. h. der Ausschlag erfolgt nach derselben Seite, als ob in *a* ein Zinkdraht, in *b* ein Kupferdraht eingesenkt gewesen wäre und man diese Drähte dann in die Flüssigkeit des Glasgefäßes eingetaucht hätte. Dieser Strom ist jedoch nur ein vorübergehender.

Was die Polarisationserscheinungen überhaupt betrifft, so werden wir dieselben später noch besonders betrachten, hier mußte dieselbe nur als eine der Wirkungen mit aufgeführt werden, welche das Ausströmen der Elektricität aus Spitzen begleiten.

Alle diese Reactionen verschwinden, wenn Schwefelwasserstoffgas, Ammoniakgas, ölbildendes Gas u. s. w. in der Luft des Zimmers verbreitet ist.

Wenn man die Ausströmungsspitze durch eine Weingeistlampe bis zum Glühen erhitzt und gleich nach dem Entfernen der Lampe die Maschine in Thätigkeit setzt, so sind nun alle die bisher beschriebenen Erscheinungen, welche das Ausströmen der Elektricität begleiten, verschwunden, d. h. der elektrische Geruch wird nicht mehr wahrgenommen; Jodkaliumkleister, welchen man der Ausströmungsspitze entgegenhält, wird nicht gebläut, Platin oder Goldplatten werden nicht galvanisch polarisirt. Alle diese Erscheinungen treten aber allmälig wieder auf, wenn die Spitze mehr und mehr erkaltet.

Um den Versuch in Beziehung auf den Geruch rein zu haben, muß man ihn mit Drahtstücken von edlen Metallen anstellen, weil die leichten oxydirbaren Metalle beim Erhitzen selbst einen eigenthümlichen Geruch verbreiten; da jedoch ganz dünne Drähte zu diesem Versuch nicht geeignet sind, dickere aber nicht immer erhalten werden können, so kann man einen dünneren Platindraht anwenden, an dessen Ende ein Kügelchen von ungefähr 1 Linie Durchmesser angeschmolzen ist.

Elektrischer Geruch bei der elektrischen Zersetzung des Wassers. 96

Der elektrische Geruch tritt nicht allein bei der Ausströmung der Elektricität aus Spitzen auf, auch bei der elektrolytischen Zersetzung des Wassers begegnen wir demselben wieder und finden ihn von denselben Reactionen und Wirkungen begleitet, die wir im vorigen Paragraphen betrachtet haben.

Bei genauerer Untersuchung ergiebt sich, daß der elektrische Geruch an dem positiven Pol, also an demjenigen auftritt, an welchem Sauerstoffgas entbunden wird, denn wenn man die aus der Zersetzung des Wassers resultirenden Gase gesondert auffängt, so bemerkt man den fraglichen Geruch nur in demjenigen Gefäß, welches den Sauerstoff enthält, keine Spur aber in demjenigen, welches den Wasserstoff einschließt.

Auch die gemengt aufgefangenen Gase besitzen den elektrischen Geruch.

Hängt man in das mit dem elektrischen Geruch behaftete, durch die Elektrolyse erhaltenen Sauerstoffgas oder Knallgas ein mit Jodkaliumkleister bestrichenes Papier, so wird dasselbe gebläuet. Eine in dieses Gas einige Zeit lang eingetauchte Platinplatte zeigt dieselbe elektronegative Polarisation, als ob man sie dem elektrischen Büschel ausgesetzt hätte

Chemisch reines Sauerstoffgas bringt keinen dieser Effecte hervor, es hat nicht den Geruch, bläut nicht den Jodkaliumkleister und ist nicht im Stande eine Platinplatte negativ zu galvanisiren.

Das durch elektrolytische Zersetzung erhaltene Gas bringt also in allen diesen Fällen dieselbe Wirkung hervor wie die Luft, welche von einer stark elektrisirten Spitze abströmt.

97 **Erzeugung des Ozons auf chemischem Wege.** Der sogenannte elektrische Geruch läßt sich auch ohne alle Elektricität auf rein chemischem Wege darstellen. Ein Stück Phosphor mit Löschpapier trocken abgerieben, so daß es eine reine Oberfläche hat, verbreitet einen eigenthümlichen, knoblauchartigen Geruch. Bringt man ein solches Stück Phosphor in eine mit Luft gefüllte Flasche, so wird sich in der Kälte der Phosphordampf bald in der ganzen Flasche verbreiten. Hängt man nur kurze Zeit eine Platinplatte in die Flasche hinein, so wird dieselbe bald positiv polarisirt.

Die Polarisation der Platinplatte ist wohl dem Phosphordampf zuzuschreiben, welcher sich in der Flasche verbreitet, der Geruch aber höchst wahrscheinlich der phosphorigen Säure, welche sich durch die theilweise Oxydation des Phosphordampfes bildet.

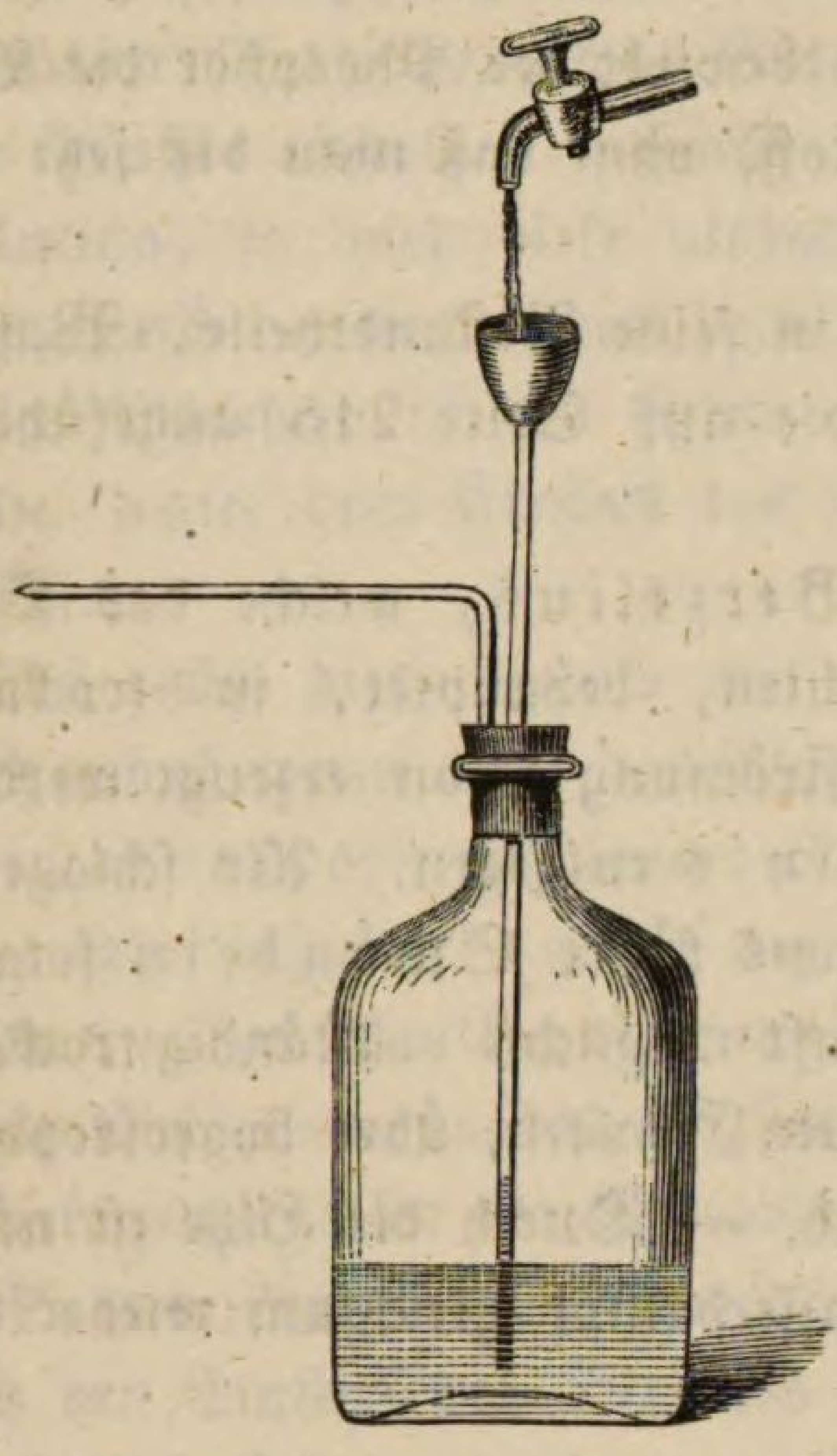
Ist nun etwas Feuchtigkeit in der Flasche (am besten so viel Wasser, daß das Phosphorstück halb aus demselben hervorragt), so wird der Phosphorgeruch schwächer und schwächer, er verschwindet endlich ganz und an seine Stelle tritt alsdann ein entschiedener Ozongeruch. Bei etwas höherer Temperatur tritt der Ozongeruch sehr bald auf.

Dieser Ozongeruch ist von dem auf elektrischem Wege erzeugten durchaus nicht zu unterscheiden und er ist von allen den Reactionen und Wirkungen begleitet, welche das Agens des elektrischen Geruches charakterisiren. — Hängt man ein Papier mit Jodkaliumkleister in die Flasche hinein, so wird es sogleich gebläut, eine in die ozonhaltige Luft getauchte Platinplatte wird elektronegativ polarisirt.

Mit dem auf chemischem Wege dargestellten Ozon kann man die Reactionen fast ganz in derselben Form hervorbringen, wie mit einer Elektricität ausströmenden Spitze. Zu diesem Zweck wird eine mehrere Liter haltende

mit ozonhaltiger Luft gefüllte Flasche (Fig. 84) durch einen Kork verschlossen, welche doppelt durchbohrt ist. Durch die eine Oeffnung geht eine Röhre beinahe bis auf den Boden der Flasche, welche oben in einen Trichter endigt, durch die andere Oeffnung geht eine Röhre, welche nicht weiter in die Flasche herabgeht, die aber bald über den Kork horizontal eingebogen ist und in eine Spitze mit ziemlich kleiner Oeffnug endigt. Läßt man nun in den Trichter in passendem Maaße Wasser einströmen, so wird die ozonhaltige Luft durch die Spitze der andern Röhre ausgetrieben. Diese Spitze verhält sich jetzt vollkommen gerade so wie eine Metallspitze, aus welcher ein elektrischer Büschel ausströmt. — Wenn man die Glasspitze der Nase nähert, so beobachtet man den elektrischen Geruch, hält man ihr ein Papier mit Jodkaliumkleister gegenüber, so wird es gebläut, hält man eine Platinplatte vor die feine Oeffnung, so wird dieselbe elektronegativ polarisirt.

Fig. 84.



Wir haben oben gesehen, daß alle Wirkungen des Ozons verschwinden, wenn die Büschel gebende Spitze stark erhitzt ist; ebenso verschwinden alle Reactionen des Ozons, sobald man den horizontalen Theil des Ausströmungsrohres durch eine Weingeistlampe stark erhitzt hat. Die Luft, die durch die heiße Röhre strömend zur feinen Oeffnung hervortritt, hat keinen Geruch mehr, sie bläut den Jodkaliumkleister nicht und ist nicht im Stande eine Platinplatte elektrisch zu polarisiren. — Alle diese Wirkungen treten aber nach Erkaltung der Röhre wieder auf.

Chemische Natur des Ozons. Schönbein, der Entdecker des 98
Ozons, hat mit unermüdlichem Fleiße Jahre lang das Verhalten dieses merkwürdigen Körpers beobachtet und untersucht, und gefunden, daß er in jeder Beziehung mit den Hyperoxyden die größte Aehnlichkeit hat; er ist dadurch endlich zu der Ansicht gelangt, daß das Ozon nichts anderes sey als ein gasförmiges Wasserstoffsuperoxyd.

Das Ozon bildet sich demnach durch eine fernere Oxydation des Wasserdampfes der Luft. Es erklärt sich dadurch, warum Wasser oder viel-

mehr Wasserdampf zur Ozonbildung durchaus nothwendig ist. In vollkommen trockner Luft kann man mittelst Phosphor kein Ozon darstellen.

Die Elektricität disponirt den Wasserdampf der Atmosphäre, sich weiter zu oxydiren und Ozon zu bilden; eben so bewirkt der Phosphor die Verbindung des Wasserdampfes mit Sauerstoff, ohne daß man bis jetzt das »Wie?« beantworten könnte.

Durch die Hitze wird das Ozon wieder in seine Bestandtheile, Wasserdampf und Sauerstoff, zerlegt, wie uns die auf Seite 215 angeführten Versuche lehren.

Es wird zwar von de la Rive und Berzelius, welche das Ozon als einen modificirten Sauerstoff betrachten, behauptet, in trocknem Sauerstoffgas könne durch elektrische Ausströmung Ozon erzeugt werden, doch ist dies allen Analogieen Schönbein's entgegen. Als schlagendsten Beweis für den Wassergehalt des Ozons führt Schönbein folgenden Versuch an: wenn man ozonhaltige Luft möglichst vollständig trocknet, alsdann dieselbe erhitzt, so giebt sie nach dem Erkalten, über hygroskopische Körper streichend, Wasser an dieselben ab. — Durch die Hitze ist nämlich das Ozon wieder zerlegt, also der Wasserdampf gleichsam wieder frei geworden, den es enthielt.

Das Ozon ist eines der kräftigsten Oxydationsmittel, welche man kennt. Leitet man längere Zeit ozonhaltige Luft über fein zertheiltes metallisches Silber, so wird dasselbe in Silbersuperoxyd verwandelt. Die Phosphordämpfe werden unter dem Einfluß des Ozons rasch oxydirt und in Phosphorsäure und phosphorichte Säure verwandelt.

Die Thatsache, daß sich beim Durchschlagen elektrischer Funken durch wasserhaltige atmosphärische Luft Salpetersäure bildet, ist bereits im Jahre 1785 von Cavendish ermittelt worden. Schönbein hat nun aber nachgewiesen, daß sich unter diesen Umständen auch stets Ozon bildet.

Da mit Hülfe der Funkenelektricität Ozon in feuchtem Sauerstoffgas erzeugt werden kann, so ist klar, daß die Bildung des Ozons von derjenigen der Salpetersäure unabhängig ist. Dahingegen hat es Schönbein im höchsten Grade wahrscheinlich gemacht, daß die Bildung der Salpetersäure nicht eine directe Wirkung der Elektricität ist, sondern eine secundäre, hervorgebracht durch die oxydirende Wirkung des Ozons auf den Stickstoff der Atmosphäre.

Die Salpetersäurebildung durch Elektricität läßt sich am einfachsten dadurch nachweisen, daß man der aus einem Drahte ausströmenden Elektricität eine Zeit lang ein mit einer Lösung von kohlensaurem Kali befeuchtetes Papier aussetzt; das kohlensaure Kali wird unter diesen Umständen zum Theil in salpetersaures Kali verwandelt.

Auch das vermittelst Phosphor dargestellte Ozon bewirkt eine Salpetersäurebildung. — Die phosphatige Säure, ein Gemisch von Phosphorsäure und phosphoriger Säure, welche sich in einem Ballon bildet, der ein Stückchen Phosphor, etwas Wasser und atmosphärische Luft enthält, wird vom Wasser absorbirt. Färbt man nun dieses Wasser mit etwas Indigosolution, so wird diese alsbald gebleicht, eine Wirkung, welche weder Phosphorsäure noch phosphorichte Säure für sich allein hervorbringen. Dieses Bleichen ist der Effect einer geringen Quantität Salpetersäure, welche, unter dem Einfluß des Ozons gebildet, sich gleichfalls in Wasser löst.

Daß man hier wirklich mit Salpetersäure zu thun hat, ergiebt sich daraus, daß wenn man das Wasser mit Kalkmilch schüttelt, sich phosphorsaurer und phosphorichtsaurer Kalk bildet, welche unlöslich sind, während etwas salpetersaurer Kalk in der Lösung zurückbleibt.

Davy hat die Beobachtung gemacht, daß am positiven Pole einer Säule Spuren von Salpetersäure auftreten, wenn durch luft- oder stickstoffhaltiges Wasser ein Voltaischer Strom geht; auch hier ist die Bildung der Salpetersäure eine secundäre Wirkung der Elektricität. Zunächst wird durch den Einfluß des Stromes Ozon gebildet, und dieses oxydirt dann den Stickstoff.

Das Leuchten des Phosphors durch die Einwirkung von Ozon bewirkt. 99
Bei niedrigen Temperaturen findet bekanntlich in ozonfreier Luft keine langsame Verbrennung des Phosphors, also kein Leuchten desselben im Dunkeln statt, welches aber sogleich auftritt, sobald Ozon mit dem Phosphor in Berührung kommt. In einer Flasche, in welcher sich ozonisirte Luft befindet, leuchtet der Phosphor auch bei ganz niedriger Temperatur.

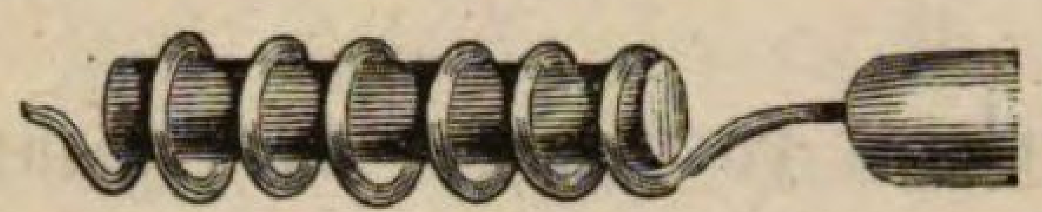
Sehr schön hat dies Schönbein dadurch nachgewiesen, daß er bei niedriger Temperatur Phosphorstangen elektrischen Lichtbüscheln aussetzte, welche nach dem Obigen die Bildung von Ozon vermitteln. Die Art, wie er den Versuch anstellte, war folgende (P. A. LXVIII. 38.).

Es wurde ein Zoll langes Stück Phosphor von reiner Oberfläche auf ein mit der Erde in leitender Verbindung stehendes Brettchen gelegt und das freie Ende eines mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine verbundenen Drahtes bis auf einige Linien dem Phosphor genähert. Bei einer Temperatur von — 2° leuchtete der Phosphor an und für sich im Dunkeln nicht; setzte man aber die Maschine in Bewegung, so daß ein elektrischer Büschel von Draht gegen das Phosphorstück spielte, so leckte augenblicklich eine leichte Flamme über die ganze Länge des Phosphors hinweg, die in der Regel gleich einem Kometenschweife noch weit über die Phosphorstange hinausreicht. Wird die Maschine nicht mehr gedreht,

so verschwindet auch das Leuchten des Phosphors nach einigen Secunden wieder.

Eine sehr artige Lichterscheinung erhielt Schönbein durch folgende Anordnung. Ein Kupferdraht wurde spiralförmig um ein Zoll langes Stück reinen Phosphors herumgewunden, so daß das eine Ende des Drahtes noch um eine Linie als Spitze über den Phosphor hinausreicht, ungefähr so, wie es Fig. 85 darstellt. Das andere Ende des Drahtes wurde mit dem Conductor einer Elektrisirmaschine verbunden. Bei einer Temperatur unter 0° leuchtete das Phosphorstück selbst in der größten Dunkelheit nicht im mindesten. Drehte man aber die Elektrisirmaschine, so daß ein lebhafter Büschel am Ende des gewundenen Drahtes erschien, so sah man aus der Mitte des Büschels einen leuchtenden Kegel hervorgehen, der je nach den Umständen eine Länge von einigen Zollen bis zu einigen Fußen erreichte. Der größte Kegel, den Schönbein erhielt, war $2\frac{1}{2}$ Fuß lang. Mit kräftigen Maschinen muß man solche Kegel von noch viel bedeutenderer Länge erhalten.

Fig. 85.



Es darf wohl ohne Bedenken angenommen werden, daß dieser Lichtschweif nichts anderes ist als in langsamer Verbrennung begriffener Phosphordampf.

Der leuchtende Schweif verschwindet mit dem elektrischen Büschel.

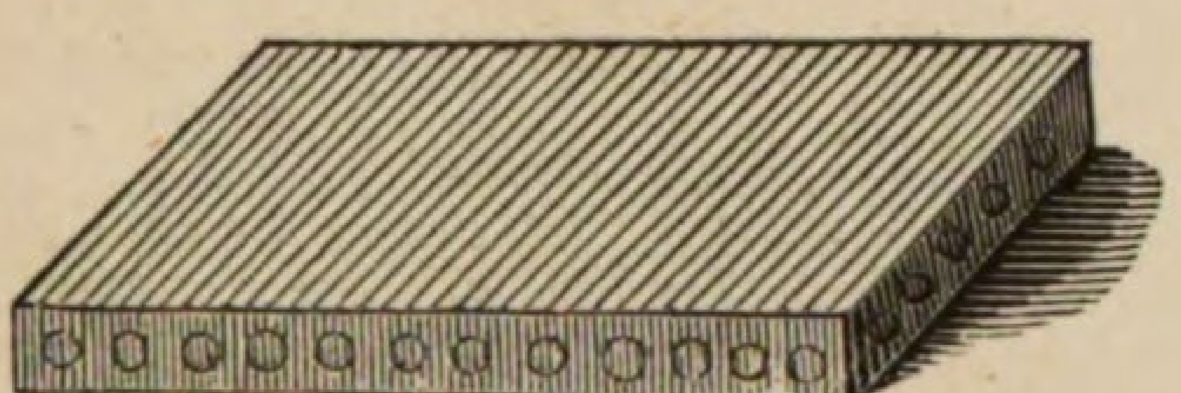
Nachtrag.

In Beziehung auf Grüel's Elektrisirmaschinen, von denen bereits auf Seite 20 die Rede war, ist aus dem 100sten Bande von Dingler's polytechnischem Journal noch Folgendes nachzutragen.

Eine geriebene Glasfläche von circa 2 Quadratfuß gab in Verbindung von nur einem Reibzeuge und einem Conductor von circa $1^3/_4$ Quadratfuß, mit $1^1/_2$zölligen Endkugeln versehen, dem Blitz ähnliche, vielfach gezackte Funken von 8zölliger Schlagweite; die Ausdehnung der Lichtbüschel ging begreiflich noch über diese Entfernung hinaus. — Hiermit in Verhältniß stand die rasche Ladung großer Leidner Flaschen, ebenso die Wirkung kleinerer Elektrisirmaschinen von äußerst ansprechender Form.

Die Verfertigung von Elektrophoren betreffend, welche auf Seite 2 angeführt wurde, mögte Folgendes die zweckmäßigste und billigste Construction derselben seyn.

Fig. 86.



Auf ein quadratisches Brett von 1 bis $1^1/_2$ Fuß Seitenlänge, welches mit Stanniol oder unächtem Silberpapier überzogen ist, spannt man eine oder zwei Lagen ordinären wollenen Tuches und darüber eine einfache oder auch doppelte Lage von Guttapercha-Papier; Tuch und Guttapercha-Papier werden an den Seitenwänden des etwa Zoll hohen Brettes mit kurzen dickköpfigen Nägeln aufgenagelt. Ein solches Elektrophor, welches sehr wirksam ist, hat ungefähr das in Fig. 86 dargestellte Ansehen.

Schönbein's elektrisches Papier wird auf folgende Weise dargestellt. Schießbaumwolle wird in Aether aufgelöst und die klare

Auflösung über eine beliebige Glasfläche ausgebreitet. Nach gänzlicher Verflüchtigung des Lösungsmittels bleibt eine durchsichtige Haut zurück, welche eben das elektrische Papier ist, und welcher man neuerlich den Namen Collodion beigelegt hat. Grüel hat das Collodion zur Darstellung kleiner Luftballons angewandt.

Galvanismus.

Erster Abschnitt.

Streit der chemischen Theorie und der Contacttheorie.

Einleitung. Den Bericht über die Fortschritte und neueren Ent- 100
deckungen im Gebiete des Galvanismus müssen wir mit der Besprechung des vielfach unerquicklichen Streites zwischen der sogenannten Contacttheorie und der chemischen Theorie der galvanischen Kette beginnen, ein Streit, der mit einer gewissen Leidenschaftlichkeit geführt wurde. Gerade diese Heftigkeit des Streites beweist aber schon, daß die Sicherheit der Beweisführung, mit der man dem Gegner zu widerlegen suchte, auf schwachen Füßen stehe. Ueberall zeigt uns die Geschichte der Wissenschaft, daß die Heftigkeit der Controverse verschwindet, sobald hinlänglich überzeugende Gründe für eine Ansicht beigebracht werden, wo aber die zwingende Ueberzeugungskraft der Gründe fehlt, da läßt sich eben der Mensch im Streben, seiner Ansicht Geltung zu verschaffen, gar leicht zur Leidenschaftlichkeit hinreißen; die Urtheile nehmen dann eine apodictische Gestalt an, um durch die Schroffheit der Form den Widerspruch zurückzudrängen.

Ist eine naturwissenschaftliche Theorie genügend begründet, so hört die Leidenschaftlichkeit der Controverse auf. Wenn jetzt jemand mit der Behauptung auftreten wollte, die Sonne drehe sich doch um die stillstehende Erde, ich glaube schwerlich, daß sich die Astronomen sehr ereifern, daß sie sich viele Mühe geben würden dem Gegner zu widerlegen, und als Drieberg kürzlich die physikalische Lehre vom Luftdruck angriff, haben seine Behauptungen keinerlei Aufregung unter den Physikern hervorgebracht.— Der Widerspruch reizt nur da, wo die Theorien noch nicht über denselben erhaben sind, und das ist zum Theil der Fall in Beziehung auf die Quelle der Elektricität der galvanischen Kette.

Ich bin der festen Ueberzeugung, daß die in Rede stehende Streitfrage noch nicht nach allen Seiten hin spruchreif ist, und daß wir eine vollstän-

dige Lösung derselben, eine genügende, allseitig und gleichförmig abgerundete Erklärung der Elektricitätsentwicklung überhaupt, erst dann erwarten können, wenn wir über das Wesen der Elektricität selber erst besser aufgeklärt sind. Das Wesen der Elektricität zu enträthseln mögte aber jetzt noch eine vergebliche Mühe seyn., es wird erst möglich werden, wenn neu entdeckte Thatsachen die Materialien liefern, aus denen leicht und ungezwungen eine Theorie herauswächst, die auf einmal Licht über die Punkte der Elektricitätslehre verbreiten wird, die man jetzt vergeblich durch breitere und unklare Betrachtungen zu erhellen sucht. — Zu Euler's Zeit war die Vibrationstheorie schon ungleich weiter vorgerückt, als unsere Elektricitätslehre, es lag ungleich mehr Material zum Aufbau derselben bereit, und dennoch gelang es dem großen Naturforscher nicht ihr allgemeine Anerkennung zu verschaffen; er konnte sie nur durch Analogieen mit dem Schall plausibel machen. Erst durch die Entdeckung neuer Thatsachen, erst durch die Entdeckung der Polarisation war es möglich, das wahre Wesen der Lichtwellen zu ermitteln und der Theorie eine Vollendung zu geben, vor welcher der Widerspruch verstummen mußte.

Aus mangelhaftem Material wird man niemals einen festen vollendeten Bau aufführen können. Demzufolge dürfen wir jetzt nur eine relative, keine definitive Entscheidung der Streitfrage über die Quelle der Elektricität der galvanischen Kette erwarten. —

Zu Ende der dreißiger und zu Anfang der vierziger Jahre wurde der Streit mit besonderer Heftigkeit geführt, er hat aber allmälig nachgelassen, so daß er jetzt fast ganz verstummt ist, ohne daß sich jedoch die Meinungen der Physiker und Chemiker vollständig vereinigt hätten.

Es ist in der That sehr schwierig, diesem Streit überall zu folgen und mit kurzen präcisen Worten die gegnerischen Ansichten hinzustellen, weil sich eben diese Ansichten selten präcis ausgesprochen finden und uns häufig nur Nebelbilder statt klar ausgesprochene und consequent durchgeführte Ansichten geboten werden. Die im Verhältniß zu ihrem sachlichen Inhalt größtentheils sehr bedeutende Ausdehnung der meisten Abhandlungen, in welchen diese Controverse behandelt wird, ist in der That kein günstiges Zeichen für die Klarheit der Vorstellungen ihrer Autoren.

Unter allen denen, welche an dem Streite sich betheiligt haben, kann man wohl kaum zwei nennen, die in ihren Ansichten ganz übereinstimmen. Die meisten machen ihre Theorien so ziemlich auf einer tabula rasa, ohne sich um das vorhandene Material zu kümmern, und ohne danach zu fragen, ob denn die neu aufgestellte Theorie nicht eine bedeutungslose Modification schon vorhandener Ansichten sey, ob die neue Hypothese wirklich mehr leiste als die schon früher aufgestellte. — Daher kommt es denn auch, daß man derselben Grundidee in den mannichfaltigsten Formen wieder be-

gegnet, wie dies z. B. mit der polaren Stellung der Wassertheilchen zwischen den beiden Polen der Kette der Fall ist.

Ein Umstand, welcher bei diesem Streite besonders auffallen muß, und der nicht wenig zur Verlängerung desselben und zur Verwirrung beigetragen hat, ist der, daß so häufig die gegnerische Meinung ganz unrichtig aufgefaßt wurde, daß man sie gleichsam zur Carricatur machte. Auf diese Weise wurden dem Gegner Behauptungen untergelegt, die er nie gemacht hat; es wurden aus seiner Theorie Consequenzen gezogen, gegen die er protestiren muß.

Es erinnert dies an die Polemik Göthe's gegen die Newton'sche Farbenlehre. — Nach der Newton'schen Theorie erwartete Göthe eine weiße Wand durch ein Prisma in lauter farbige Streifen getheilt zu sehen, als er aber die Wand durch das Prisma weiß und nur mit farbigen Rändern begränzt sah, nahm er aus dieser Thatsache ein Argument gegen die Newton'sche Farbenlehre. Die Physiker sind aber darüber einig, daß Göthe dadurch nur den Beweis geliefert hat, die Newton'sche Theorie nicht verstanden zu haben.

Nicht viel anders ist es, wenn man die Umkehrung des Stroms eines Zinkkupferelements in Schwefelleberlösung als Beweis gegen die Contacttheorie geltend machen will; — oder wenn auf der andern Seite behauptet wird, daß Schönbein's Modification der chemischen Theorie die Zunahme der Spannung in der offenen Säule nicht erklären könne. Freilich sind noch viele Erscheinungen, z. B. die Passivitätserscheinungen, sehr räthselhaft, aber keine der beiden streitenden Theorien vermag dieselben besser zu erklären als die andere. Der Umstand, daß noch Vieles räthselhaft ist, kann keinen Grund abgeben, eine Theorie zu verlassen, wenn nicht eine andere die Räthsel besser löst. Die Erklärungsweise, welche die chemische Theorie von Polarisation und Passivität giebt, steht auf ganz gleicher Stufe mit den entsprechenden Erklärungen der Contacttheorie; beide sind gleich mangelhaft, sie laufen aber so vollkommen parallel, daß man nur die Terminologie zu ändern braucht, um die Erklärung der einen Theorie in die Sprachweise der andern zu übersetzen. In der That ist es ziemlich gleichbedeutend für das Verständniß der Passivität des Eisens, ob man sagt, seine Verwandtschaft zum Sauerstoff ist verringert, oder ob man sagt, es ist mehr elektronegativ geworden.

Kurze Charakteristik der streitenden Theorien. Gehen wir 101
nach dieser allgemeinen Betrachtung über zu einer kurzen Charakteristik der verschiedenen galvanischen Theorien.

Nach der ursprünglichen Volta'schen Contacttheorie ist die

Quelle der Elektricität der Säule lediglich in der Wechselwirkung der in Berührung stehenden Metalle zu suchen; die Flüssigkeit der Säule wird nur als Leiter betrachtet.

In dieser ursprünglichen einseitigen Form genügt diese Theorie unserer jetzigen Kenntniß der Thatsachen nicht mehr; in dem Maaße, als die Bedeutung der chemischen Beziehungen des Stromes mehr bekannt wurden, war man genöthigt, die Theorie zu modificiren, und in der That ist es gelungen, dieselbe in eine Form zu bringen, in welcher sie alle Erscheinungen der offenen und der geschlossenen Säule umfaßt und erklärt.

Diese modificirte Form der Contacttheorie ist es, welche ich in meinem Lehrbuch der Physik vorgetragen habe.

Dieser Contacttheorie entgegen steht die chemische Theorie der Kette, welche in ihrer schroffen Form von de la Rive, Becquerel, Faraday und den meisten englischen Physikern vertreten wird. Dieser Theorie zufolge ist die Elektricitätsentwickelung in der Kette erst die Folge einer vorhergegangenen chemischen Wirkung, welche die Flüssigkeit der Kette auf das eine Metall ausübt. Auch die elektrische Spannung an den Polen der nicht geschlossenen Kette ist nach dieser Ansicht die Folge einer vorhergegangenen chemischen Einwirkung.

Diese Meinung, daß die Elektricitätsentwickelung nur die Folge vorhergegangener chemischer Wirkung sey, daß ohne chemische Zersetzung des Elektrolyten gar keine Elektricität in der Kette auftreten könne, ist es vorzugsweise, gegen welche die Angriffe der Contactisten gerichtet waren, und in der That widerspricht dieselbe einer großen Anzahl von Thatsachen. Die chemische Theorie in dieser Form ignorirt den Volta'schen Fundamentalversuch vollkommen, sie giebt keine Auskunft darüber, wie die Spannung der Elektricität an den Polen der offenen Kette mit der Anzahl der Plattenpaare zunimmt. Was aber am entschiedensten die Unhaltbarkeit dieser Ansicht darthut, ist der Umstand, daß man in der That eine Menge galvanischer Ketten construiren kann, bei denen vor der Schließung auch nicht eine Spur chemischer Zersetzung stattfindet, und die nichts desto weniger einen Strom liefern, wenn sie geschlossen werden.

Schönbein hat in einem Aufsatz »über die Ursache der hydroelektrischen Ströme«, welcher sich in seinen »Beiträgen zur physikalischen Chemie (Basel 1844)« befindet, mehrere solcher Ketten angeführt. Eine Auflösung von vollkommen neutralem schwefelsaurem Zinkoxyd greift z. B. das Zink nicht an, dessen ungeachtet giebt eine Combination von Zink und Kupfer in einer Auflösung von Zinkvitriol einen Strom.

Ein fernerer sehr bedeutsamer Einwurf gegen diejenige Form der chemischen Theorie, welche die Bildung des Stromes von einem vorausge-

gangenen chemischen Angriff des einen Metalles der Kette ableitet, ist auch noch der, daß die elektromotorische Kraft einer Kette durchaus nicht der Stärke des chemischen Angriffs proportional ist. Steht in einer Daniell'schen Kette das Kupfer in einer Lösung von Kupfervitriol, so bleibt die elektromotorische Kraft des Apparates fast ganz ungeändert, mag nun das Zink in Wasser oder in verdünnter Schwefelsäure oder in einer neutralen Lösung von Zinkvitriol stehen. Dies hat außer andern Physikern auch Svanberg durch genaue Messungen nachgewiesen (P. A. LXXIII. 290). Wäre der vorhergegangene chemische Angriff die Quelle des Stromes, so müßte die elektromotorische Kraft bei Anwendung der verdünnten Säure weit größer seyn, als für Wasser und Zinkvitriol.

Es ist Thatsache, daß der Strom der Hydrokette nicht ohne Zersetzung der Flüssigkeit circuliren kann, die Zersetzung der Flüssigkeit scheint wesentlich zusammenzuhängen mit der Leitung der Elektricität durch dieselbe, und auch die Contacttheorie hat die Bedeutung, welche die chemische Zersetzung in den Zellen für die Strombildung hat, vollkommen anerkannt. Wenn man aber darüber streitet, ob die Zersetzung die Ursache des elektrischen Stromes sey oder ob der chemischen Zersetzung in der Kette erst ein elektrischer Spannungszustand vorangehe, nach dessen Quelle wir vor der Hand noch nicht fragen wollen, so ist dies in der That nicht viel anders, als wenn man sich darüber streiten wollte, ob die Bewegung eines Mühlrades von dem Fall des Wassers oder von der Schwere des Wassers abzuleiten sey. —

Die Schwere veranlaßt den Fall des Wassers und der Fall des Wassers die Umdrehung des Rades, so wie die elektrische Spannung die chemische Zersetzung veranlaßt, in Folge deren der Strom circulirt.

Selbst Faraday, der doch vorzugsweise die chemische Zersetzung als Quelle des elektrischen Stromes betrachtet wissen will, giebt zu, daß der Zersetzung ein Spannungszustand der Flüssigkeit vorangehe, denn er sagt bei der Gelegenheit, wo er seine Vertheilungstheorie, die schon oben pag. 55 besprochen wurde, auf die elektrolytische Zersetzung anwendet: »Die Theorie nimmt an, daß die Theilchen des Dielectricum (jetzt ein Electrolyt) im ersten Augenblick durch gewöhnliche Vertheilungswirkung in einen »Polarisationszustand gebracht, und bis zu einem gewissen Grade von »Spannung oder Intensität gesteigert werden, bevor die Entladung an»fängt. Der Vertheilungszustand ist in der That eine nothwendige »Vorläuferin der Entladung. Benutzt man die geeigneten Umstände, »so wird es nicht schwer halten, die diesen Vertheilungszustand anzeigende »Spannung zu erhöhen und so den Zustand sichtbar zu machen. Wenn »z. B. destillirtes Wasser angewandt, und eine lange schmale Portion »zwischen die Elektroden einer kräftigen Volta'sche Batterie gebracht wird,

»so bekommt man sogleich Anzeigen von der Intensität, welche man an diesen »Elektroden — — — erhalten kann, denn man kann Funken bekommen, »Goldblätter zum Divergiren bringen und Leidner Flaschen laden u. s. w.« (Zwölfte Reihe von Experimentaluntersuchungen über Elektricität, 1345. P. A. XLVII. 47).

Faraday selbst giebt also zu, daß der Zersetzung in die eingeschaltete Zerlegungsquelle, folglich auch in den einzelnen Zellen der Kette selbst ein Polarisationszustand der Zersetzung, also auch die Bildung des Stromes vorangeht. Man kann demnach consequenterweise den Gegensatz der Faraday'schen Theorie der Säule zur Contacttheorie nicht mehr darin suchen, daß Faraday die Circulation des Stromes von der chemischen Zersetzung in der Zelle ableite. Die Contacttheorie nimmt wie Faraday an, daß bei der Hydrokette die Bildung des Stromes die Folge der chemischen Zersetzung in die Zelle ist, sie nimmt wie Faraday an, daß dieser Zersetzung ein Spannungszustand vorangehen müsse, und nur in Beziehung auf die Ursache dieses Spannungszustandes, welche nichts anderes ist als die elektromotorische Kraft, kann eine Meinungsverschiedenheit zwischen Chemisten und Contactisten herrschen.

102 **Schönbein's chemische Theorie.** Die Einwendungen wohl berücksichtigend, welche man gegen die chemische Theorie in ihrer früheren Form machen kann, hat Schönbein dieselbe bedeutend modificirt und in dieser einen Form in dem schon oben pag. 228. erwähnten Aufsatz vorgetragen.

Durch diese Schrift ist der Streit der Contactisten und Chemisten in ein neues Stadium getreten und, wie mir scheint, eine Verständigung zwischen den Physikern angebahnt. Folgendes sind die Grundzüge der Schönbein'schen Theorie, die wir seiner Schrift wörtlich entnehmen.

»Von welcher Art auch immer die Ursache oder die Kraft seyn mag, »durch welche die Elementarstoffe befähiget werden, sich unter einander zu »scheinbar gleichartigen Körpern zu vereinigen und in dem neuen Verbin»dungszustand zu verharren, so viel ist gewiß, daß irgend eine Verände»rung in diesem Zustande eintreten muß, wenn mit einem der besagten »Körper ein drittes Element in Berührung gebracht wird, das gegen den »einen oder den andern Bestandtheil der Verbindung eine merkliche chemi»sche Anziehungskraft ausübt. Wählen wir, um unsere Ideen daran zu »erläutern, das Wasser als Beispiel. Sauerstoff und Wasserstoff sind in »der genannten Verbindung mit einer gewissen Stärke zusammengehalten, »oder es befinden sich, wenn man die gleiche Sache anders ausdrücken »will, die chemischen Anziehungskräfte der erwähnten Elementarstoffe im »Wasser in einem gewissen Zustande des Gleichgewichtes. Bringt man »nun einen oxydirbaren Körper, wie z. B. Zink mit Wasser, in Berührung,

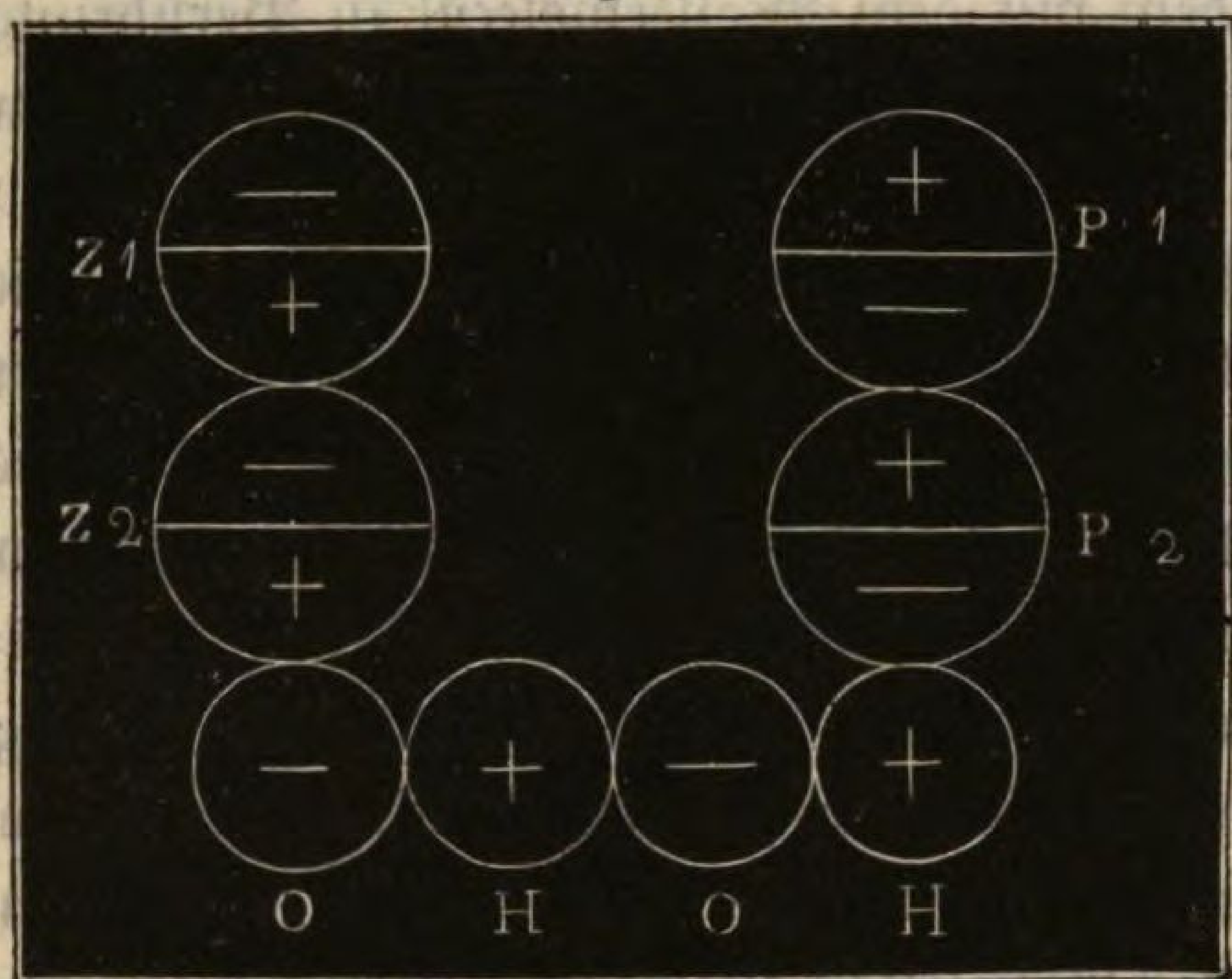
»so wird derselbe eine chemische Anziehung von gewisser Stärke gegen den »Sauerstoff des Wassers ausüben. In Folge dieser stattfindenden Anziehung muß aber auch das chemische Verhältniß, das zwischen Sauerstoff »und Wasserstoff vor der Anwesenheit des Zinkes in Wasser besteht, verändert oder der Zustand des ursprünglichen chemischen Gleichgewichtes dieser Elemente auf irgend eine Weise modificirt oder gestört werden. Es »wird mit andern Worten unter den vorhin angegebenen Umständen in »jedem Wassertheilchen der Sauerstoff nach zwei entgegengesetzten Richtungen hingezogen, einmal nach dem mit dem Wassermolecül in Berührung »stehenden Zinke, und dann nach dem in diesem Molecül enthaltenen »Wasserstofftheilchen.

»Wie nun durch die geringste mechanische Moleculärveränderung, die »in einem Körper stattfindet, das elektrische Gleichgewicht desselben gestört »wird, oder dessen Theilchen elektrisch polarisirt werden, so hat auch die »besprochene Veränderung, welche durch das Zink in der ursprünglichen »chemischen Thätigkeit des Sauerstoffes zum Wasserstoff des Wassers verursacht wird, die elektrische Polarisation der mit einander in Berührung »stehenden Materien zur Folge. Es werden die dem Wasser zugekehrten »Zinktheilchen positiv, die Sauerstoffseiten der das Zink begränzenden »Wassermolecüle negativ und die Wasserstoffseiten der gleichen Molecüle »positiv polarisirt. Versteht sich von selbst, daß die das Zink berührenden Wassertheilchen auf die ihnen benachbarten Wassermolecüle einen »inducirenden Einfluß ausüben werden, diese letzteren wieder auf die nächstfolgenden Theilchen, und so fort, bis alle unter einander zusammenhängenden Wassermolecüle in dem Zustande elektrischer Entzweiung oder der »Polarisation sich befinden. Wie nun von der Stelle, wo Zink und Wasser sich unmittelbar berühren, eine inducirende Wirkung durch die Wassertheilchen hindurch geht, so werden auch durch den Vorgang, der an dem »erwähnten Orte stattfindet, alle unter einander zusammenhängenden »Zinktheilchen elektrisch polarisirt und zwar in der Weise, daß diejenige »Seite eines jeden solchen Theilchens, welche von dem Wasser abgewendet »ist, die negative Polarität, die dem Wasser zugekehrte Seite aber die positive Polarität zeigt. Setzt man nun in dieses so beschaffene, das heißt, »polarisirte Wasser einen guten Leiter, oder, was dasselbe sagen will, eine »leicht elektrisch polarisirbare Materie, welche gegen den Sauerstoff des »Wassers indifferent sich verhält, so z. B. Platin, so werden die Seiten der »Theilchen dieses Körpers, welche mit dem Wasser in unmittelbarer Berührung stehen, negativ, und die ein= oder vom Wasser abwärts gelegenen Seiten der gleichen Theilchen positiv elektrisch werden, in Folge nämlich einer inducirenden Wirkung, welche von dem polarisirten Wasser auf »das eingetauchte Platin ausgeübt wird.

»Natürlich treten alle übrigen Molecüle des Platins gleichfalls in den »Zustand elektrischer Entzweiung, und zwar so, daß diejenige Seite jedes »Theilchens, welche vom Wasser abgewendet ist, positive Polarität, die »dem Wasser zugekehrte Seite negative Polarität hat.

»Folgende Zeichnung dürfte von dem elektrischen Zustande, in welchem »sich die Theilchen des Zinkes, Wassers und Platins befinden, eine klare »Vorstellung geben:

Fig. 87.



»Es ist eine für sich selbst »verstandene Sache, daß der »Zustand aller Theilchen der »in Rede stehenden Vorrich- »tung so lange andauert, als »die Ursache, welche die Po- »larisation hervorgerufen, fort- »fährt wirksam zu sein, d. h. »so lange, als die chemische »Anziehung des Zinkes gegen »den Sauerstoff des Wassers »stattfindet. Hebt man aber »die Berührung zwischen Zink und Wasser auf, so gleichen sich die entge- »gengesetzt elektrischen Zustände, in welchen sich der Wasser- und Sauerstoff »jedes Wassermolecüles befinden, sofort aus; was zur nothwendigen Folge »hat, daß auch in den Platintheilchen ein solcher Ausgleichungsact statt- »findet.

»Setzt man dagegen z. B. das Theilchen Z^1 unserer Vorrichtung mit »dem Theilchen P^1 in Berührung, so wird unter diesen Umständen die ne- »gative Seite von Z^1 mit der positiven Seite P^1 in Contact kommen, »und werden sich die entgegengesetzten Zustände besagter Theilchen gegen- »seitig aufheben. Im demselben Augenblicke aber, in welchem diese Aus- »gleichungsthätigkeit in den erwähnten Theilen stattfindet, muß dieselbe »auch zwischen je zwei unmittelbar benachbarten Theilchen der ganzen Kette, »also auch zwischen der positiven Seite eines das Wasser berührenden Zink- »theilchens und dem mit letzterm in Contact stehenden negativen Sauer- »stofftheilchen eines Wassermolecüles erfolgen. Ebenso gleicht sich der »elektro-negative Zustand eines Platintheilchens mit dem positiven Zustand »des damit in Berührung stehenden Wasserstofftheilchens eines Wasser- »molecüles aus.

»Die elektrische Ausgleichung nun, welche zwischen je einem Metall- »theilchen und dem einen Bestandtheil eines Wassermolecüles stattfindet, »ist ohne eine Zerlegung des letztern nicht möglich, indem eben dieser Aus-

»gleichungsact als die wahre und letzte Urschache der elektrischen Zersetzung »des Wassers betrachtet werden muß.«

— — — — — — — — — — — — —

»Wie man leicht einsieht, ist nach dieser Betrachtungsweise die wirk»liche Verbindung des Sauerstoffs mit dem Zink unserer Kette nur als se»cundäre Wirkung des Stroms oder des elektrischen Ausgleichungsactes »anzusehen und nicht als die Ursache oder die Quelle des Stromes selbst. »Ist nun diese chemische Verbindung zwischen dem Sauerstoff- und Zink»molecül vollzogen, und befindet sich im Wasser eine Materie, welche das »Zinkoxyd von seinem Bildungsorte zu entfernen vermag, so wird hierdurch »ein neues Zinktheilchen in Berührurg mit einem Wassermolecül gesetzt, wird »dieses letztere, nebst allen zwischen Zink und Platin liegenden Wasserstoff»theilchen aufs Neue elektrisch polarisirt; es erfolgt bei der Fortdauer der »Schließung der Kette abermals eine Ausgleichung der elektrischen Gegen»sätze zwischen je zwei benachbarten Theilchen des Volta'schen Kreises und »in Folge hiervon die Zersetzung neuer Wassermolecüle; und so geht Pola»risirung und Depolarisirung, Volta'sche Strömung und Elektrolyse fort, »bis die hierzu nöthigen Bedingungen aufhören erfüllt zu werden.

»Setzen wir nun den Fall, daß man Wasser zwischen zwei Metalle »stelle, welche genau eine gleich starke Anziehung gegen den Sauerstoff dieser »Flüssigkeit äußerten, so ist klar, daß derselbe unter diesen Umständen nach »entgegengesetzten Richtungen hin gleich stark gezogen würde, und daß mit»hin die auf die Wassertheilchen von den Metallen ausgeübten Wirkungen »sich gegenzeitig aufheben müßten, die Bestandtheile dieser Wassermolecüle »also auch nicht polarisirt werden, und deshalb beim Schließen einer derar»tigen Kette weder Strömungen noch elektrolytische Thätigkeiten stattfinden »könnten.

»Brächte man aber Wasser zwischen zwei Metalle, von denen das eine »Affinität zum Sauerstoff der genannten Flüssigkeit hat, größer als die»jenige, welche der andere metallische Körper zum gleichen Sauerstoffe besitzt, »so würde unter solchen Umständen das zwischen den Bestandtheilen jedes »Wassermolecüles bestehende chemische Gleichgewicht gestört werden, und »zwar in einem Grade, welcher dem Unterschiede der Oxydirbarkeit beider in »Anwendung gebrachten Metalle proportional seyn müßte.

»Da nun die Störung dieses chemischen Gleichgewichtes zwischen den »Bestandtheilen der Wassertheilchen auch die Aufhebung des elektrischen »Gleichgewichtes nach sich zieht, und diese um so bedeutender ausfällt, je »größer jene ist, so folgt hieraus, daß der Grad der elektrischen Polarisirung, »der zwischen zwei Metalle gestellten Wassermolecüle auch proportional seyn »muß dem Unterschiede der Oxydirbarkeit der fraglichen metallischen Körper; »oder, um die gleiche Sache anders auszudrücken, daß die Größe der elektri-

»schen Spannnng, in welche die Theile einer offenen Kette zu einander tre»ten, gemessen wird durch die Größe des Unterschiedes, welcher zwischen den »Graden der Oxydirbarkeit der in die Construction der Kette eingehenden »Metalle besteht.

— — — — — — — — — — — — —

»Steht nun wirklich die Oxydirbarkeit eines Metalles in dem von mir »angenommenen Zusammenhange mit seinem Volta'schen Verhalten, so »ist es eine von selbst verstandene Sache, daß die Stelle, welche ein metal»lischer Körper in der elektrischen Spannungsreihe der Contactisten einnimmt, »auch den Grad bezeichnet, welcher demselben Metalle in der Skale der »Oxydirbarkeit der metallischen Substanzen zukommt. Vergleichen wir nun »die Spannungsreihe der Metalle, welche man erhält, wenn dieselbe mit »Wasser auf galvanoskopischem Wege ermittelt wird, mit der Skale der »Oxydirbarkeit der gleichen Körper, wie sie sich aus den gewöhnlichen chemi»schen Erscheinungen ableiten läßt, so kann unserem Blicke unmöglich die »große Uebereinstimmung entgehen, welche zwischen beiden Reihen besteht.«

— — — — — — — — — — — — —

»Da wir nun eine Anzahl von Elektrolyten haben, in welchen andere »Metalloide als der Sauerstoff die Rolle des Anions spielen, wie dies z. B. »die einfachen Salzbilder, der Schwefel und das Selen, in ihren Verbin»dungen mit Wasserstoff thun, so folgt aus den vorhin gemachten Bemer»kungen, daß die elektrischen Spannungsreihen der Metalle mit verschiede»nen Elektrolyten ermittelt, nicht völlig mit einander übereinstimmend aus»fallen können. Dieser Mangel an Uebereinstimmung ist wirklich durch »vielfache Versuche außer allen Zweifel gestellt worden, und nicht ganz klein »ist die Zahl von Fällen, in welchen dieselben zwei Metalle ein verschieden»artiges Volta'sches Verhalten gegen einander zeigen, wenn dieselben in »verschiedene elektrolytische Flüssigkeiten gebracht werden; so also, daß das »gleiche Metall, welches in der einen Flüssigkeit z. B. positiv gegen das »zweite Metall sich verhält, in der anderen Flüssigkeit ein umgekehrtes Ver»halten zeigt.

»Der Fall einer Verwechslung der Volta'schen Rolle, welche dieselben »zwei Metalle in zwei verschiedenen Flüssigkeiten spielen, muß, gemäß den »obigen Auseinandersetzungen, immer dann eintreten, wenn das chemische »Verhalten dieser Metalle zu den Anionen der in Anwendung gebrachten »Elektrolyten sich nicht gleich ist, d. h. wenn die Verwandtschaft eines und »desselben Metalles zu den beiden Anionen der Elektrolyten die Affinität »des anderen Metalles zu den gleichen Anionen nicht übertrifft, oder das »entgegengesetzte Verhalten zeigt.

»Die Erfahrung lehrt allerdings, daß im Allgemeinen die Verwandt»schaftsverhältnisse, welche zwischen den Metallen und dem Sauerstoffe be-

»stehen, auch ähnlich sind denjenigen, welche zwischen jenen Körpern und »den Salzbildern, dem Schwefel, Selen u. s. w. stattfinden, woher es eben »kommt, daß das Volta'sche Verhalten, welches die Metalle in nicht sauer»stoffhaltigen elektrolytischen Flüssigkeiten zeigen, so häufig übereinstimmen »mit demjenigen, welches dieselben Körper im Wasser bemerken lassen.

— — — — — — — — — — — — —

»Betrachten wir nun diejenigen Ketten, welche aus einem Metalle und »zwei elektrolytischen Flüssigkeiten bestehen.

»Als das interessanteste Beispiel desselben ist gewiß diejenige zu be»trachten, die man aus Wasser, Salzsäure und Gold erhält.«

»Diese Kette liefert erfahrungsgemäß einen Strom, der vom Gold in »Salzsäure und von dieser in das Wasser geht. Dieser Strom ist aller»dings schwach, und hört wegen der schnell erfolgenden positiven Polarisa»tion des Goldes, welches in das Wasser taucht, bald auf eine meßbare »Stärke zu haben.

»Die Entstehung des fraglichen Stromes beruht auf der einfachen »Thatsache, daß das Gold zum Chlor der Salzsäure eine chemische Ver»wandtschaft besitzt, größer als diejenige, welche dasselbe Metall zum Sauer»stoffe des Wassers hat.

— — — — — — — — — — — — —

»Aus voranstehender Erörterung läßt sich leicht abnehmen, daß alle »Volta'schen Vorrichtungen, welche aus zwei verschiedenen Elektrolyten »und einem Metalle zusammengesetzt sind, wirksame Ketten bilden müssen, »falls das hierbei angewendete Metall zu dem Anion des einen elektrolyti»schen Körpers eine chemische Verwandtschaft besitzt, größer als die Affinität »des gleichen Metalles zu dem Anion des anderen Elektrolyten. Auch wird »aus dieser Erörterung ferner klar, daß die Stärke des auftretenden Stro»mes proportional sein muß dem Unterschiede, welcher zwischen den beiden »eben erwähnten Affinitätsgrößen stattfindet.

— — — — — — — — — — — — —

»Es wird wohl kaum der ausdrücklichen Erwähnung bedürfen, daß »auch andere als metallische Körper an das eine oder das andere Ende einer »stetigen Reihe elektrolytischer Molecüle gestellt werden können, um diese zu »polarisiren. Je nach dem chemischen Verhalten, das solche Körper zu dem »Anion oder Kathion eines Elektrolyten zeigen, werden dessen Molecüle in »diesem oder jenem Sinne polarisirt werden.

»Wird mit dem einen Ende einer Reihe von Wassertheilchen z. B. »Chlor in Berührung gebracht, so muß unter diesen Umständen eine Stö»rung des chemischen Gleichgewichtes dieser Molecüle stattfinden, und müs»sen sich deren Wasserstoffseiten nach dem Chlore richten. Setzt man nun »das eine Ende eines Platinbogens mit dem Chlor, und das andere Ende

»des gleichen Bogens mit irgend einem Wassertheilchen der erwähnten Reihe »in Berührung, so wird ein Strom entstehen müssen, der von diesem an»deren Ende des Platinbogens durch das Wasser zum Chlore geht, während »dieses mit dem Wasserstoff des Wassers sich chemisch vereinigt.

»Befindet sich dagegen an dem Ende einer stetigen Reihe von Was»sermolecülen eine nichtmetallische Substanz, die zum Anion dieser Reihe »irgend eine chemische Anziehung ausübt, so wird eine Polarisation der »Wassertheilchen stattfinden, welche entgegengesetzt ist derjenigen, die in dem »vorhin betrachteten Falle das Chlor veranlaßt.

»Eine solche Substanz ist z. B. die schweflichte Säure, welche das »Bestreben hat, mit dem Sauerstoffe des Wassers sich zu verbinden. Dieses »Bestreben ist hinreichend, um die Wassertheilchen zu polarisiren, und unter »den geeigneten Umständen einen Strom in Bewegung zu setzen.

»Stellt man an das Ende einer Reihe von Wassermolecülen einen »Körper, welcher zu dem Anion derselben, an das andere Ende dieser Reihe »eine Substanz, die zu dem Kathion dieser Molecüle eine chemische Anzie»hung äußert, so ist klar, daß die fragliche Reihe der elektrolytischen Wasser»theilchen unter einem gedoppelten polarisirenden Einfluß sich befindet, und »die hierbei ins Spiel kommenden elektromotorischen Kräfte sich gegenseitig »verstärken. Eine Reihe solcher elektrolytischer Molecüle, die an dem einen »ihrer Enden z. B. Chlor, an dem anderen Ende schweflichte Säure hat, »muß daher, wenn durch einen leitenden Bogen zum Volta'schen Kreise »geschlossen, einen Strom erregen, stärker als derjenige, welcher auftritt in »dem Falle, wo entweder nur Chlor oder nur schweflichte Säure unter sonst »gleichbleibenden Umständen zur Anwendung kommt.

»Es ist kaum nöthig zu bemerken, daß meine Wasserstoffplatinkette, »wie auch die neue Grove'sche Gassäule, Volta'sche Vorrichtungen sind, »welche, obwohl einige Eigenthümlichkeiten darbietend, dennoch in die Klasse »der vorhin besprochenen Combinationen gehören.«

Endlich bespricht Schönbein noch die sogenannten Hyperoxydketten. Taucht man eine reine und eine mit einer Hülle von Bleihyperoxyd versehene Platinplatte in Wasser, so wird ein Strom entstehen, sobald man die beiden Metallplatten metallisch verbindet, und zwar geht der positive Strom von der reinen Platinplatte durch die Flüssigkeit zu der mit Hyperoxyd überzogenen.

Die Strombildung sowohl, wie auch die Richtung derselben erklärt sich leicht.

Es ist bekannt, daß die Hälfte des Sauerstoffs im Hyperoxyd große Geneigtheit zeigt, sich abzutrennen und mit oxydirbaren Körpern zu verbinden; Schönbein hat ferner gezeigt, daß das zweite Mischungsgewicht Sauerstoff im fraglichen Hyperoxyd eine größere Verwandtschaft gegen oxy-

dirbare Stoffe äußert, als selbst ungebundener oder freier Sauerstoff; das Hyperoxyd wird also polarisirend auf die Wassertheilchen wirken, und zwar so, daß sie ihre Wasserstoffseite gegen das Hyperoxyd kehren.

Andere Hyperoxyde verhalten sich auf gleiche Weise.

Vergleichung der Schönbein'schen Theorie mit der Contact- 103
theorie. Vergleichen wir nun die Schönbein'sche Theorie mit der Contacttheorie, wie sie in meinem Lehrbuche vertreten ist, so müssen wir gestehen, daß beide vollkommen parallel laufen, daß die Erscheinungen der offenen und der geschlossenen Kette durch beide gleich gut erklärbar sind; denn Schönbein verlegt nur den Ort der Elektricitätserregung von der Berührungsstelle der Metalle an die Berührungsstelle zwischen Metall und Flüssigkeit. Darin aber ist Schönbein's Theorie entschieden im Vortheil, daß sie in allen Volta'schen Combinationen die Richtung des Stromes aus den chemischen Beziehungen der die Kette bildenden Substanzen zum Voraus bestimmen kann, während der Contacttheorie ein solches Princip fehlt.

Daß dieselben Metalle bald einen Strom nach der einen bald nach der andern Richtung geben, je nachdem man zwischen dieselben diese oder jene Flüssigkeit bringt, erklärt sich nach den modificirten Contacttheorieen ganz gut aus dem verschiedenen elektromotorischen Verhalten der Flüssigkeiten zu den Metallen, die Schönbein'sche Theorie läßt uns aber nicht allein die Möglichkeit einer Stromumkehrung durch den Wechsel der Flüssigkeit einsehen, sondern sie sagt uns auch, in welchen Fällen und warum die Stromumkehrung stattfindet.

Die Schönbein'sche Theorie bestimmt also immer a priori schon nach der chemischen Natur der Stoffe, welche die Kette bilden, die Richtung des Stromes, mag nun die Kettte aus zwei Metallen und einer Flüssigkeit oder aus zwei Flüssigkeiten und einem Metalle gebildet seyn, während uns die Contacttheorie in manchen Fällen in so weit im Stich läßt, daß sie nicht im Stande ist aus einem allgemeinen Grundsatz für alle Fälle die Richtung des Stroms zum Voraus zu bestimmen und daß es in solchen Fällen (z. B. bei Ketten aus Wasser, Salzsäure und Gold; Wasser, schweflichte Säure in Platin) erst eines Versuchs bedarf, um über die Richtung des Stromes Auskunft zu erhalten.

Diesen Betrachtungen zufolge sollte man meinen, es könne gar kein Zweifel mehr obwalten, für welche der beiden Theorien man sich zu entscheiden habe, ob für Schönbein's chemische Theorie oder für die modificirte Contacttheorie. Dessen ungeachtet kann ich es, so zu sagen, doch noch nicht auf mein physikalisches Gewissen nehmen, mich unbedingt für Schönbein's Theorie auszusprechen, weil sie eine wohlbegründete Thatsache, den Volta'schen Fundamentalversuch gänz-

lich ignorirt und von demselben nicht entfernt eine Erklärung zu geben im Stande ist.

Daß eine Elektricitätserregung stattfindet, wenn verschiedene Metalle mit einander in Berührung kommen, ist eine durch directe in mannichfachen Formen angestellte Versuche hinläglich constatirte Thatsache, die man weder ignoriren darf, noch durch solche Künsteleien in der Deutung des Versuchs beseitigen kann, wie es die Gegner der Contacttheorie gethan haben.

Hier möchte sich aber, meiner Ansicht nach, ein sehr einfacher Ausweg bieten. Steht denn der Fundamentalversuch im Widerspruch mit der Schönbein'schen Theorie? — Keineswegs! — Alle Sätze der Schönbein'schen Theorie zugegeben, wird durch dieselbe die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, daß eine elektrische Spannung eintritt, wenn zwei Metalle von verschiedener Oxydirbarkeit mit einander in Berührung gebracht werden. — Nimmt man in die Schönbein'sche Theorie diesen Satz noch auf, so genügt sie allen bis jetzt bekannten Thatsachen.

Betrachten wir nach dieser Ansicht den Vorgang, welcher bei Schließung einer einfachen Kette stattfindet. Bringt man mit Wasser auf der einen Seite eine Zinkplatte, auf der andern Seite eine Platinplatte in Berührung, so wird eine elektrische Polarisation eintreten, wie sie durch Figur 88 angedeutet ist, nur müssen wir von der Polarisation der einzelnen Zinktheilchen und der einzelnen Platintheilchen abstrahiren, welche meines Wissens auch durch keine Thatsache gefordert wird. Statt der Fig. 88 würde uns Fig. 89 den Polarisationszustand darstellen; die elektrische Polarität der Wassertheilchen sowohl als auch der Metallplatten ist jedoch in diesem Falle noch gering. Sobald man aber *Z* und *P* in Berührung bringt, wird das Zink bedeutend stärker positiv, die

Fig. 88.

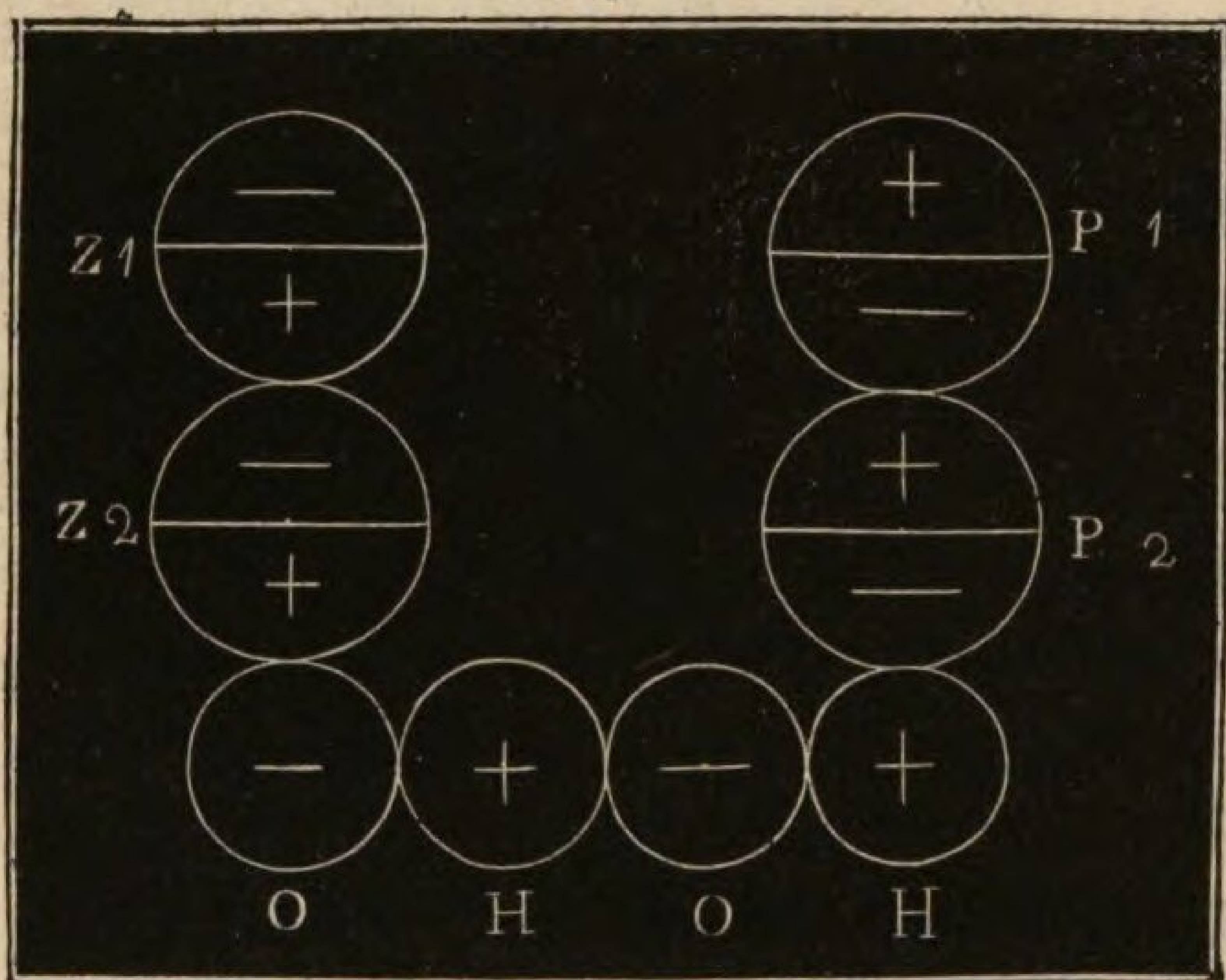
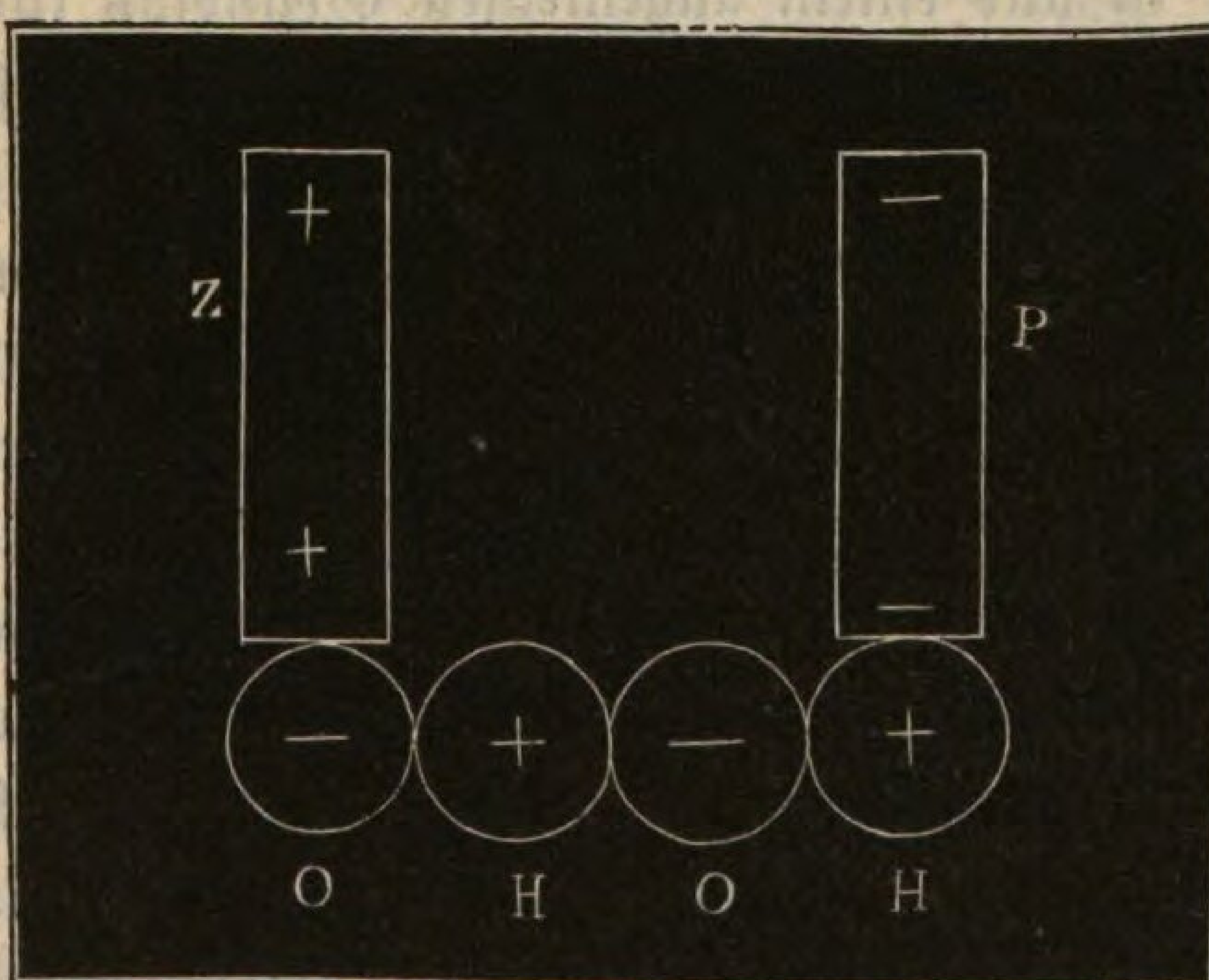


Fig. 89.



Platinplatte wird stärker negativ und in Folge dessen wird auch die Polarisation der Wassertheilchen zwischen beiden Platten bedeutend verstärkt.

Ich habe hier den Weg nur angedeutet, auf welchem mir eine Ausgleichung der Differenzpunkte beider streitenden Theorien möglich scheint, eine vollständige Durchführung dieser Idee mir für später vorbehaltend.

Von manchen Seiten wird man wohl einen solchen Vermittelungsversuch als ein verwerfliches juste milieu bezeichnen, welches zwischen den extremen Partheien zu laviren suche. Dagegen habe ich zu erwidern, daß der Naturforscher beim Aufbau seiner Theorie alle Thatsachen berücksichtigen muß. Thut man dies, so kann man sich nicht unbedingt für eine chemische Theorie entscheiden, welche den Fundamentalversuch ignorirt, man kann aber auf der andern Seite auch nicht unbedingter Anhänger der Contacttheorie in ihrer bisherigen Form bleiben, man wird die eine oder die andere der beiden Theorien soweit modificiren müssen, daß sie alle bekannten Thatsachen umfaßt, wie ich es versucht habe. Ob ich bei diesem Versuch den richtigen Weg eingeschlagen habe, lasse ich freilich dahingestellt seyn.

Der Name Contactelektricität, Berührungselektricität ist jedenfalls ein ganz unpassender und mag nicht wenig zur Verwirrung der Streitfrage beigetragen haben; eigentlich ist jede Elektricität, wo und wie sie auch auftreten mag, Berührungselektricität, denn zur Erregung von Elektricität hat man unter allen Umständen zwei verschiedenartige Körper nöthig, welche in Berührung gebracht werden müssen: bei den Elektrisirmaschinen Glas und Amalgam, bei der Volta'schen Säule zwei Metalle und eine Flüssigkeit, bei der Thermosäule verschiedenartige Metallstäbe. — Ueberall wo heterogene Körper in Berührung gebracht werden, findet wohl eine Elektricitätsentwickelung statt, es wird sich aber alsbald ein elektrischer Gleichgewichtszustand einstellen. Soll eine fortdauernde Elektricitätserregung stattfinden, so muß dieser Gleichgewichtszustand fortwährend gestört werden; dies findet bei der Reibungselektricität dadurch statt, daß die sich eben sehr innig berührenden Stellen der heterogenen Körper außer Berührung gebracht werden; bei der Hydrokette durch die Zersetzung des Elektrolyten. Bei der Thermosäule wird die Strömung des elektrischen Gleichgewichts durch die Strömung des thermischen Gleichgewichtes bedingt.

Zweiter Abschnitt.

Bestimmung der Constanten Volta'scher Ketten.

104 **Einheit der Stromstärke.** Will man verschiedene Stromstärken vergleichen, so muß man sich vor allen Dingen über ein gemeinschaftliches Maaß für dieselbe verständigen. Bis jetzt sind meines Wissens drei verschiedene Stromeinheiten in Vorschlag und Anwendung gebracht worden, welche wir etwas näher betrachten wollen.

Pouillet schlägt als Stromeinheit den Strom vor (P. A. XLII. S. 281), den ein thermoelektrisches Element von Kupfer und Wismuth liefert, welches so geschlossen ist, daß der Gesammtwiderstand gleich dem eines 20 Meter langen und 1^{mm} dicken Kupferdrahtes ist, wenn die eine Löthstelle auf einer Temperatur von 100^0, die andere auf einer Temperatur von 0^0 erhalten wird.

Jacobi (P. A. XLVIII. 26) vergleicht die Ablenkung einer Nerwander'schen Tangentenboussole mit der Wasserzersetzung, welche der Strom gleichzeitig hervorbringt, er reducirt also die Angaben der Tangentenboussole auf chemischen Effect. Als Einheit der Stromstärke nimmt er dabei denjenigen Strom an, welcher in 1 Minute 1 Kubikcentimeter Knallgas (von 0^0 Temperatur bei einem Luftdruck von 760^{mm}) liefert.

Weber nimmt zur Einheit der Stromstärke denjenigen Strom, welcher die Einheit der Fläche umkreisend in der Ferne dieselbe Wirkung hervorbringt, wie die Einheit des freien Magnetismus.

Um zu erläutern, was Weber unter der Einheit des freien Magnetismus versteht, müssen wir etwas weiter ausholen.

Ein nördlich oder südlich von einer Magnetnadel befindlicher Magnetstab, dessen Axe rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian steht, wie dies Fig. 90 (a. f. S.) dargestellt ist, wird ein Bestreben äußern, die Nadel aus dem magnetischen Meridian abzulenken, während der Erdmagnetismus sie in denselben zurückzuführen strebt. Die Größe der

Ablenkung hängt von dem Verhältniß beider Kräfte ab, und zwar ist die Tangente des Ablenkungswinkels der Quotient der Erdkraft in die Stabkraft, also

Fig. 90.



$$\frac{f}{T} = tang.\ v \ldots\ldots 1)$$

wenn wir mit v den Ablenkungswinkel bezeichnen, mit f die Kraft, mit welcher der Stab der Nadel aus dem magnetischen Meridian herauszudrehen, und mit T die Kraft, mit welcher der Erdmagnetismus dieselbe zurückzuführen strebt. (Das Nähere in meinem Lehrbuche der Physik 3te Aufl. 2. Bd. S. 40 u. f.)

Nun ist aber die Wirkung des Stabs auf die Nadel der dritten Potenz der Entfernung von derselben proportional, so lange diese Entfernung einigermaßen groß ist im Vergleich zu den Dimensionen des Stabes und der Nadel. Bezeichnen wir mit r diese Entfernung, so muß also das Product fr^3 eine constante Größe seyn, die wir mit M bezeichnen wollen. —

Dieses Product fr^3 oder M bezeichnet aber nichts anderes als das Drehungsmoment, welches der Stab auf die Nadel ausüben würde, wenn er sich in der Entfernung 1 von ihr befände, und seine Wirkung bei dieser Annäherung wirklich stets in demselben Verhältniß zugenommen hätte, in welchem der Kubus der Entfernung abnahm. Dieß Verhältniß zwischen Wirkung und Entfernung findet nun in der That für kleine Entfernungen nicht mehr statt, dieß hindert aber nicht, das auf die Einheit reducirte Drehungsmoment fr^3 oder M für ein Maaß des Stabmagnetismus zu benutzen. Multiplicirt man Gleichung 1 mit r^3 und setzt man $fr^3 = M$, so kommt

$$\frac{M}{T} = r^3\ tang.\ v$$

oder

$$M = T\ r^3\ tang.\ v \ldots\ldots 2)$$

Nehmen wir an, der ablenkende Stab und die Nadel seyen gleich stark magnetisch, ferner der Magnetismus in beiden sey gerade so stark entwickelt, daß das reducirte Drehungsmoment M gleich ist dem Druck, welchen die Masse eines Milligramms an einem Hebelarm von 1^{mm} angreifend hervorbringen würde, wenn auf diese Masse statt der beschleunigenden Kraft der Schwere eine Kraft wirkte, un=

ter deren Einfluß der doppelte Fallraum der ersten Secunde gleich der Längeneinheit (1^{mm}) wäre, so ist dies die Einheit des freien Magnetismus.

Mit dieser Einheit ist auch die erdmagnetische Kraft zu messen oder, mit anderen Worten, T ist in dieser Einheit auszudrücken. Wie der Zahlenwerth von T bestimmt wird, wenn man das eben definirte absolute Maaß zu Grunde legt, findet man in Weber's Originalabhandlungen über diesen Gegenstand, und in elementarer Darstellung in meinem Lehrbuch der Physik (3te Aufl. 2ter Band Seite 48).

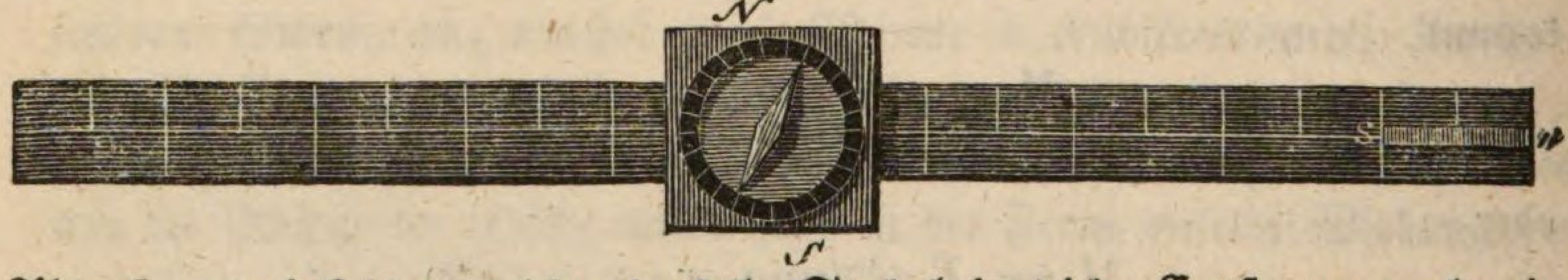
Ist der Werth von T nach absolutem Maaß bestimmt, so giebt uns die Gleichung 2 das reducirte Drehungsmoment eines Magnetstabs in derselben Einheit ausgedrückt.

Die Größe M hat aber noch eine andere Bedeutung als die bisher besprochene. Es ist nämlich $C = T \,.\, M$ das Drehungsmoment, mit welchem der Erdmagnetismus den rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian stehenden Stab aus dieser Lage herauszudrehen strebt (Lehrbuch der Physik 3te Aufl. 2ter Band Seite 44). M bezeichnet also die Größe dieses Drehungsmomentes für den Fall, daß $T = 1$ wäre.

Wenn man also beobachtet hat, um wie viel Grade eine Magnetnadel durch einen nördlich oder südlich von ihm in der Lage Fig. 90 befindlichen Stab abgelenkt wird, so kann man nach dieser Beobachtung mittelst der Gleichung 2 das Drehungsmoment berechnen, mit welchem der Erdmagnetismus den Stab, welcher rechtwinklig auf dem magnetischen Meridian liegt, aus dieser Lage herauszudrehen strebt.

Bringt man den Magnetstab östlich oder westlich von der Magnetnadel an, also in eine solche Lage, wie sie Fig. 91 dargestellt ist, so lenkt nun der Stab bei gleicher Entfernung die Nadel stärker ab, und zwar so, daß die Tangente des Ablenkungswinkels u jetzt doppelt so groß ist als die Tangente des

Fig. 91.



Ablenkungswinkels v, welchen derselbe Stab bei gleicher Entfernung, aber in der Lage Fig. 90, hervorgebracht haben würde; unter übrigens gleichen Umständen ist also $tang.\, v = \frac{tang.\, u}{2}$, hat man also die Ablenkungsversuche nicht in der Lage Fig. 90, sondern in der Lage Fig. 91 gemacht, so ergiebt sich nun

$$M = \frac{T\, r^3\, tang.\, u}{2}.$$

Das Verhalten des Kreisstromes, welcher den in der Ebene des mag=

netischen Meridians liegenden Ring der Tangentenboussole durchläuft, gegen den Erdmagnetismus sowohl wie gegen die Magnetnadel in seiner Mitte läßt sich nun mit der Wirkung des in der Lage Fig. 91 befindlichen Magnetstabes vergleichen.

Wenn der Kreisstrom der Tangentenboussole die Nadel um u Grade ablenkt, so ist (Lehrbuch der Physik 3te Aufl. 2ter Band S. 203)

$$tang.\, u = \frac{2\,\pi\, g}{r\, T},$$

wenn g die Stromstärke und r den Halbmesser des Ringes bezeichnet; wir haben also für das reducirte Drehungsmoment des Kreisstromes G, welches dem Drehungsmomente M eines Magnetstabes entspricht

$$G = \frac{T\, r^3\, tang.\, u}{2} = \pi\, r^2 g \;.\;.\;.\;.\; 3).$$

Es ist dies G die Kraft, mit welcher unter den oben angegebenen Verhältnissen der Kreisstrom aus der Ebene des magnetischen Meridians herausgedreht werden würde, wenn die magnetische Erdkraft $= 1$ wäre.

Wenn $\pi r^2 = 1$ so wird $G = g$, es ist demnach g das Moment eines Kreisstromes, welcher die Einheit der Fläche umkreist.

Aus Gleichung 3 erhalten wir für g den Werth

$$g = \frac{T\;.\;r\;.\;tang.\, u}{2\,\pi} \;.\;.\;.\;.\;.\; 4),$$

wir erhalten also einen Werth für die Stromstärke g, gemessen durch das Drehungsmoment eines die Flächeneinheit umkreisenden Stromes dieser Stärke, in absolutem Maaß ausgedrückt, wenn man für T seinen Werth in absolutem Maaße setzt. —

Vergleichung der verschiedenen Stromeinheiten. Theoretisch 105
sind diese drei verschiedenen Einheiten der Stromstärke vollkommen scharf bestimmt, wenn man also nur vom rein wissenschaftlichen Standpunkte aus die Sache betrachtet, erscheint jede dieser Einheiten annehmbar, der Vorzug gebührt aber von diesem Standpunkte aus jedenfalls der Weber'schen Einheit.

Anders aber wird man wohl wählen müssen, wenn man auch die praktischen Bedürfnisse gehörig würdigt.

Die galvanischen Ketten sind vielfach in die Technik eingetreten, es ist also von hoher praktischer Bedeutung, Methoden zu besitzen, nach welchen man die Constanten einer galvanischen Kette mit Genauigkeit bestimmen kann. — Leider sind solche Methoden bis jetzt noch sehr wenig verbreitet, und so kommt es denn, daß wir von vielen verschiedenen Constructionen galvanischer Apparate wohl Beschreibungen ihrer Wirksamkeit haben, aber keine solche, welche eine genaue Vergleichung derselben mit andern Appa-

raten gestatten, und eine Folge davon ist, daß man sich vielfach über den Werth galvanischer Apparate täuscht.

Zur Ermittlung der Constanten der galvanischen Ketten muß man sich vor allem über eine Stromeinheit verständigen, wenn die von verschiedenen Beobachtungen an verschiedenen Orten mit verschiedenen Instrumenten gemachten Beobachtungen vergleichbar seyn sollen. Soll aber eine solche Stromeinheit populär werden, soll sie auch für Praktiker zugänglich seyn, welche zwar mit den Grundgesetzen der Elektricitätslehre bekannt sind, aber doch nicht in die Specialitäten der Wissenschaft eindringen können, so darf man nur eine solche Stromeinheit wählen, deren Definition leicht und allgemein verständlich ist; ferner muß diese Einheit aber auch eine solche seyn, daß die Bestimmung der Stromstärke nach derselben mit einem möglichst geringen Aufwand von Apparaten möglich ist.

Von diesem Gesichtspunkte aus muß man wohl der von Jakobi zuerst in Anwendung gebrachten Stromeinheit unbedingt den Vorzug geben. — Ich will versuchen diese Behauptung zu rechtfertigen.

106 **Reduction der Pouillet'schen Stromeinheit auf chemisches Maaß.** Um die Angaben irgend einer Bussole mit der Pouilet'schen Einheit zu vergleichen, muß man ein thermoelektrisches Element haben, welches genau gleich ist dem von Pouillet angewandten, und muß dafür sorgen, daß der Gesammtwiderstand der Kette mit Inbegriff des Bussolen- oder Multiplicatordrahtes gleich ist dem Widerstande eines 20 Meter langen und 1^{mm} dicken Kupferdrahtes. — Nun ist aber der Strom, welchen ein solches thermoelektrisches Element unter den angegebenen Bedingungen hervorbringt, außerordentlich schwach, oder wenigstens ungleich schwächer als die Ströme hydroelektischer Ketten, welche irgend einen praktisch anwendbaren Effect liefern sollen, an solchen Instrumenten also, an welchen man gewöhnlich die Stromstärke hydroelektischer Ketten mißt, wie Tangenbussolen, Sinusbussolen, oder Mohr's Torsionsgalvanometer wird also die Pouillet'sche Stromeinheit nur eine sehr geringe Ablenkung hervorbringen. Diese Einheit der Stromstärke bringt z. B. an einer Weber'schen Tangentenbussole, welche einen Ring von 40 Centimeter Durchmesser hat, eine Ablenkung von ungefähr 5 bis 7 Minuten, an Mohr's Torsionsgalvanometer eine Ablenkung von ungefähr $1\frac{1}{2}$ Grad hervor, man müßte also an diesen Instrumenten sehr kleine Unterabtheilungen eines Grades noch mit Genauigkeit ablesen können, wenn man diesen Ablenkungswinkel hinlänglich genau bestimmen wollte, um ihn selbst oder seine Tangente bei der Messung stärkerer Ströme als Einheit zu Grunde zu legen.

Da nun die Instrumente keine hinlänglich genaue Ablesung so kleiner

Winkel gestatten, so muß man einen indirecten Weg einschlagen. Am einfachsten möchte wohl folgende Methode zum Ziele führen:

Man lasse den Strom des thermoelektrischen Elementes, welcher als Einheit dienen soll, durch einen Multiplicator gehen und beobachte die hervorgebrachte Ablenkung: sie sey 16°. Der Gesammtwiderstand ist hier gleich dem Widerstand eines 20 Meter langen Kupferdrahtes von 1^mm^ Durchmesser.

Nun lasse man auch den Strom eines hydroelektrischen Elementes durch denselben Multiplicator gehen, schalte aber in Form von Platin oder Neusilberdraht soviel Widerstand ein, daß die Ablenkung eben so groß ist, als die von dem thermoelektrischen Elemente hervorgebrachte, daß sie in unserem Beispiel also ebenfalls 16° beträgt.

Der Gesammtwiderstand, welchen jetzt der hydroelektrische Strom zu überwinden hat, muß ermittelt und auf Kupferdraht reducirt werden: er sey gleich dem Widerstand eines Kupferdrahtes von 1^mm^ Durchmesser und einer Länge von 22000 Meter.

Macht man den Gesammtwiderstand durch Wegnahme von Draht geringer, so wird der Strom in gleichem Maaße stärker werden. Macht man z. B den Widerstand 200mal geringer, so also, daß der von dem Strom des hydroelektrischen Elementes zu überwindende Gesammtwiderstand nur noch gleich ist dem Widerstand eines 110 Meter langen Normalkupferdrahtes, so wird jetzt der Strom auch 200mal stärker seyn als derjenige, welcher am Multiplicator 16° Ablenkung hervorbrachte. Dieser Strom wird an jedem zur Messung stärkerer Ströme geeigneten Instrumente, also auch an einer Weber'schen Tangentenbussole eine bedeutende Ablenkung hervorbringen; sie sey 19°.

Ein Strom also, welcher an der Tangentenbussole einen Ablenkungswinkel von 19° giebt, dessen trigonometrische Tangente $= 0{,}344$, ist 200mal stärker als die Stromeinheit, die Tangente des Winkels, welcher die Stromeinheit entspricht, ist also $\frac{0{,}344}{200} = 0{,}00172$.

Nach dieser Bestimmung sind nun alle Angaben der Tangentenbussole leicht auf die Pouillet'sche Stromeinheit zu reduciren.

Pouillet wandte bei allen seinen Untersuchungen über diesen Gegenstand nicht Tangentenbussolen sondern Sinusbussolen an.

Um in einer Minute 1 Gramm Wasser zu zersetzen, muß der durch das Wasser hindurchgeleitete Strom eine Stärke $= 13787$ Pouillet'scher Einheiten haben. Ein jedes Gramm Wasser liefert 1862,4 Kubikcentimeter Knallgas (von 0° und einem Luftdruck von 760^mm^); folglich ist, um 1 Kubikcentim. Knallgas per Minute zu liefern, eine Stromstärke von $\frac{13787}{1862{,}4} = 7{,}4$ Pouillet'schen Einheiten nöthig.

Die obigen Auseinandersetzungen werden wohl genügen, um darzuthun, daß die Reduction der Angaben irgend eines für stärkere Ströme brauchbaren Rheometers auf die Pouillet'sche Stromeinheit nur durch eine ganze Reihe keineswegs ganz einfacher Operationen erhalten werden kann. Zunächst muß man den Widerstand des thermo-elektrischen Elementes, und des Multiplicators bestimmen und so viel Widerstand noch hinzufügen, daß die Summe der Widerstände den oben angegebenen Werth hat, sodann muß man den Leitungswiderstand des hydroelektrischen Elementes ermitteln, und nachdem man in seinen Schließungsbogen noch so viel Widerstand eingeschaltet hat, die Größe dieses Widerstandes bestimmen; dann muß man den Gesammtwiderstand wieder auf einen aliquoten Theil vermindern und die entsprechende Ablenkung eines für stärkere Ströme anwendbaren Rheometers beobachten u. s. w. — Man kommt also hier nur auf vielen Umwegen zum Ziel, und da bei jeder Operation Beobachtungsfehler unvermeidlich sind und sich dieselben im Endresultat summiren, so hat also die Complicirtheit des Verfahrens auch einen nachtheiligen Einfluß auf die Genauigkeit des Resultates.

Die oben mitgetheilte Vergleichung der Pouillet'schen Stromeinheit mit chemischem Effect giebt uns freilich ein Mittel an die Hand, weit leichter die Angaben eines Rheometers in diese Stromeinheit zu verwandeln; man hat nur gleichzeitig den Strom durch das Rheometer und einen Wasserzersetzungsapparat gehen zu lassen, um zu ermitteln, wie viel Knallgas in einer Minute entwickelt wird, während das Rheometer eine bestimmte Gradzahl angiebt. Da jedes Kubikcentimeter Knallgas 7,4 Pouillet'schen Einheiten entspricht, so weiß man nun also auch, wie viel Pouillet'sche Stromeinheiten der beobachteten Ablenkung des Rheometers entspricht. — Hier hat man aber doch nur dem Wort nach die Pouillet'sche Einheit in Anwendung gebracht. In der That hat man doch nur die Ablenkung des Rheometers mit dem chemischen Effect verglichen und es ist kein Grund einzusehen, warum man nicht bei dieser Vergleichung stehen bleiben soll.

107 **Reduction der Weber'schen Stromeinheit auf chemisches Maaß.** Die Definition von Weber's absolutem Maaß der Stromstärke ist keineswegs eine so einfache zu nennen, daß man hoffen dürfte, den richtigen Begriff dieser Einheit in weiteren Kreisen geläufig zu machen. Von diesem Uebelstand könnte man aber noch absehen, wenn nur die Bestimmung der Stromstärke nach diesem absoluten Maaße leicht auszuführen wäre.

Hat man an einer Weber'schen Tangentenboussole (die nicht weniger als 40 Centimeter Durchmesser haben darf) den Ablenkungswinkel abge-

lesen, den ein Strom hervorbringt, so erhält man den Strom stärker in absolutem Maaße ausgedrückt durch die Formel

$$g = \frac{T . r . \, tang \, u}{2\pi};$$

nach dieser Formel ergiebt sich allerdings der Werth der Stromstärke sehr leicht, wenn man nur den richtigen Werth von T kennt, d. h. wenn man weiß, wie groß am Beobachtungsorte der horizontale Theil der Intensität des Erdmagnetismus, in absolutem Maaß ausgedrückt, ist.

Die Bestimmung von T (Lehrbuch der Physik 3. Aufl. 2. Bd.) hat freilich für den Physiker von Fach keine weiteren Schwierigkeiten, für manchen Techniker aber, welcher die Stromstärke seiner Kette bestimmen will, ist sie doch zu complicirt, sie ist wenigstens weit schwieriger ausführbar als die Vergleichung der Angaben eines Rheometers mit der chemischen Wirkung des Stromes in der von Jakobi angewandten Weise. Es wäre freilich nicht gerade nöthig, den Werth von T durch Versuche am Beobachtungsort zu ermitteln, man könnte ihn aus den magnetischen Karten von Gauß entnehmen, wenn man überzeugt seyn könnte, daß an dem Beobachtungsort die Wirkung der horizontalen magnetischen Erdkraft nicht durch das Eisen modificirt wird, welches sich im Locale befindet, und welches in der That bedeutende Veränderungen von T hervorbringen kann. So ergiebt sich z. B. sowohl aus den Gauß'schen Karten als auch aus directen Beobachtungen, die im Freien angestellt wurden, daß T für Marburg = 1,88 ist, während Kasselmann den Werth von T in dem Locale, in welchem er die Versuche zur Vergleichung der Stromstärke verschiedener galvanischen Ketten anstellt, gleich 1,83 fand (über die galvanische Kohlenzinkkette von Kasselmann, Marburg 1844 pag. 75); es ist also unumgänglich nöthig, in dem Locale selbst, in welchem man die Versuche über Stromstärke anstellt, auch den Werth von T zu ermitteln.

Weber's Stromeinheit zersetzt in der Secunde 0,000009376 Grm. Wasser; in der Minute also 0,00056256 Grm., oder was dasselbe ist, diese Stromeinheit liefert in der Minute 1,0477 Kubikcentimeter Knallgas.

Um die Stromstärke nach diesem absoluten Maaße zu bestimmen, bedarf man nothwendig einer Weber'schen Tangentenboussole, deren Ring nicht viel weniger als 40 Centimeter Durchmesser haben darf, während man Rheometer verschiedener Art anwenden kann, wenn man als Einheit der Stromstärke denjenigen Strom zu Grunde setzt, welche in einer Minute 1 Kubikcentimeter Knallgas liefert. —

Sehen wir nun, wie man zu verfahren hat, um die Angaben der Rheometer auf diese Einheit zu beziehen.

Bestimmung der Stromstärke nach chemischem Maaß. Um die 108

magnetische Wirkung des Stromes im Rheometer auf chemischen Effect zu reduciren, hat man nur gleichzeitig den Strom durch einen Wasserzersetzungsapparat und das Rheometer gehen zu lassen; am zweckmäßigsten wendet man ein Voltameter an, welches die beiden Gase als Knallgas gemischt giebt.

Ein Strom, der z. B. durch ein Mohr'sches Torsionsgalvanometer und einen Wasserzersetzungsapparat ging, lieferte in einer Minute 40 Cubikcentimeter Knallgas, während die entsprechende Torsion des Galvanometers 490^0 betrug.

Da die Torsion dieses Galvanometers stets der Stromstärke proportional ist, so wäre zur Bildung von 1 Kubikcentimeter Knallgas ein Strom nöthig, der eine Torsion von $^{490}/_{40} = 12,2\ .\ .^0$ entspricht, oder jeder Grad Torsion entspricht $^{40}/_{490} = 0,0816$ Kubikcentimetern Knallgas. Um also die an diesem Galvanometer abgelesene Gradzahl auf die Jakobi'sche Einheit zurückzuführen, hatte man also dieselbe nur mit 0,0816 zu multipliciren. Einer Torsion von v^0 entspricht also die Stromstärke $0,0816\ v$.

Ganz ähnlich ist zu verfahren, wenn man die Angaben der Tangentenbussole auf chemischen Effect ruduciren will. An einem solchen Instrumente wurde z. B. eine Ablenkung von 22^0 beobachtet, während in einer Minute 30,8 Kubikcentimeter Knallgas entwickelt wurden. Da die Temperatur 15^0 C. war und der Barometerstand 740 Millimeter betrug, so ist diese Gasmenge auf 0^0 und einen Druck von 760^{mm} reducirt gleich 28,18 Kubikcentimeter.

Da bei diesem Instrument die Stromstärken der Tangente des Ablenkungswinkels proportional sind, so ist die Tangente von 22^0 also 0,404 der Gasmenge 28,18 entsprechend, der Tangente 1 entspricht also die Gasmenge $\frac{28,18}{0,404} = 69,7$, man hat also die Tangente irgend eines an diesem Instrumente abgelesenen Ablenkungswinkels mit 69,7 zu multipliciren, um zu erfahren, wie viel Kubikcentimeter Knallgas der Strom per Minute geliefert haben würde, wenn er in dieser Stärke durch einen Wasserzersetzungsapparat gegangen wäre; dem Ablenkungswinkel v entspricht also nach unserer chemischen Stromeinheit die Stomstärke $69,7\ tang.\ v$.

In ähnlicher Weise ist es auch leicht, die Angabe einer Sinusbussole auf diese Einheit zu reduciren.

Der Factor, mit welchem man die Angaben eines Rheometers multipliciren muß, um die Stromstärke in chemischem Maaße ausgedrückt zu erhalten, muß natürlich mit großer Genauigkeit ermittelt werden, es reicht dazu also ein einziger Versuch nicht aus; man muß eine Reihe von Versuchen mit verschiedenen Stromstärken machen, aus jedem den Factor be-

rechnen, und aus den so erhaltenen Werthen das Mittel nehmen. Die verschiedene Stromstärke wird am leichtesten erhalten, wenn man anfangs mit einer solchen Kette operirt, welche eine starke Wasserzersetzung liefert, und alsdann den Strom durch Wegnahme einzelner Elemente schwächt.

Eine solche Versuchsreihe, welche Mohr mit seinem Torsionsgalvanometer anstellte, gab folgende Resultate.

Anzahl der Zellen.	Torsion des Galvanometers.	Entwickeltes Knallgas in einer Minute.	Gasmenge, welche einem Torsionsgrad entspricht.
8	530°	44,5KC	0,08399
8	587	46	0,07836
8	429	37	0,08624
7	520	41	0,07884
7	490	40	0,08163
7	409	33,5	0,08278
6	423	35	0,08278
6	357	30	0,08403
5	338	29	0,08508
5	337,5	28,5	0,08444
5	315	26	0,08254
4	277	23,5	0,08483
4	263,5	23	0,08728
3	181	16	0,08838
3	181	15,75	0,08701
3	174	15	0,08621
2	85	7	0,08235
			Mittel 0,08386

Da die magnetische und die chemische Wirkung stets proportional ist, so müßte, wenn keine Beobachtungsfehler vorkämen, der Quotient aus der Gradzahl in die Gasmenge immer denselben Werth haben; das ist jedoch nur annähernd der Fall. Das Mittel aus allen Quotienten aber ist 0,08386; man erhält also die Stromstärke in chemischem Maaß ausgedrückt, wenn man die am Instrument abgelesene Gradzahl v mit 0,08386 multiplicirt, oder es ist

$$S = 0{,}08386\ v.$$

Betrachten wir noch eine ähnliche Versuchsreihe, welche angestellt wurde, um die Beziehungen zweier Tangentenbussolen zur chemischen Einheit zu ermitteln. Der Strom wurde gleichzeitig durch den Wasserzersetzungsapparat und zwei Tangentenbussolen geleitet, von denen die größere einen Ring von 38, die kleinere einen solchen von 30 Centimeter Durchmesser hatte. Damit die

Nadeln beider Bussolen keinen Einfluß auf einander ausüben konnten, waren sie in einer Entfernung von 25 Fuß von einander aufgestellt. Folgende sind die Beobachtungsresultate.

Zahl der Erregungszellen	Ablenkung		Entwickelte Gasmengen in 3'
	gr. Buss.	kl. Buss.	
12	28,5	31	125
8	24,8	27,35	106
6	22	23,5	92,5
4	18,75	20,4	78
3	13,75	16,07	56
2	5,9	6,5	23,7

Während des Versuchs, d. h. während der drei Minuten, innerhalb welcher das Gas aufgefangen wurde, schwankte die Nadel nur sehr wenig, sie ging regelmäßig zurück, doch war der Rückgang in 3' höchstens $\frac{1}{2}^{0}$. Die Gradzahlen der Tabelle sind stets das Mittel aus den zu Anfang und zu Ende der 3' abgelesenen Winkeln.

Der Quotient, welchen man erhält, wenn man die Tangente des Ablenkungswinkels in die entsprechende Gasmenge einer Minute dividirt, sollte eigentlich eine constante Größe seyn, welche angiebt, wie viel Gas per Minute ein Strom entwickelt, der an der Tangentenbussole eine Ablenkung von 45^0 hervorbringt (weil *tang.* $45^0 = 1$). Aus den verschiedenen Versuchen ergiebt sich folgender Werth dieses Quotienten.

Zahl der Beobachtung.	Quotient für die	
	große Bussole.	kleine Bussole.
1	76,7	69,3
2	76,5	71,0
3	76,2	70,9
4	76,6	69,8
5	76,3	69,3
6	76,6	69,3
Mittel	76,5	70

Während dieser Versuche war die Temperatur im Zimmer 15^0 C. und der Barometerstand betrug 744^{mm}. Das Gas wurde in einer graduirten Röhre aufgefangen und der Wasserspiegel in der Röhre stand ungefähr 10 Centimeter höher als außen, was einer Druckhöhe von 7^{mm} Quecksilber

gleichzusetzen ist. Das Gas stand also unter einem Drucke von 733mm. Auf 0° Temperatur und einen Barometerstand von 760mm reducirt, sind demnach die aus den Beobachtungen bei 15° und 733mm abgeleiteten Gasmengen 76,5 K.-C. und 70 K.-C. gleich 69,94 und 64,01 Kubikcentimetern oder in runden Zahlen 70 und 64.

Ein Strom also, welcher an der großen Bussole eine Ablenkung von 45° hervorbringt, wird in der Minute 70, ein solcher, der an der kleinen Bussole dieselbe Ablenkung hervorbringt, wird in der Minute 64 Kubikcentimeter Knallgas von 0° Temperatur und einer Spannkraft von 760mm liefern.

Nach chemischem Maaße ist also die Stromstärke eines Stromes, welcher eine Ablenkung von v^0 an der großen Tangentenbussole hervorbringt

$$S = 70 \; tang. \; v.$$

Ein Strom, welcher eine Ablenkung von u Graden an der kleinen Tangentenbussole hervorbringt, hat nach chemischem Maaß eine Stromstärke

$$S' = 64 \; tang. \; u.$$

Der constante Factor zur Reduction der Angaben eines Torsionsgalvanometers, einer Weber'schen Tangentenbussole oder einer Sinusbussole kann man also mittelst einer leicht ausführbaren Versuchsreihe erhalten. Es versteht sich von selbst, daß dieser Reductionsfactor immer nur für ein specielles Exemplar eines Rheometers gelten kann, und daß er selbst für dieses specielle Instrument nur so lange gilt, als man die Versuche an demselben Orte anstellt. Brächte man z. B. die Bussole von Freiburg nach Marburg, so würde der Reductionsfactor einen andern Werth erhalten, weil die horizontale Intensität des Erdmagnetismus in Marburg geringer ist, weil also schon ein schwächerer Strom, der weniger Knallgas liefert, eine Ablenkung von 45° bewirkt.

Die oben mitgetheilten Beobachtungsreihen liefern uns nun auch einen Beleg, daß die Weber'sche Tangentenbussole nur dann zur Bestimmung der Stromstärke nach absolutem Maaß brauchbar ist, wenn ihr Durchmesser nicht bedeutend kleiner ist als 40 Centimeter (bei einer Nadellänge von 3 Centimeter). Nach der Formel 4, Seite 243, ist bei gleichem Ablenkungswinkel der Tangentenbussole die Stromstärke dem Radius des Ringes proportional. Die Ströme, welche in den beiden bisher besprochenen Bussolen eine Ablenkung von 45° hervorbringen, sollten sich verhalten wie 38 zu 30. Der Quotient dieser Durchmesser ist 1,2666, während der Quotient der entsprechenden Stromstärke ist $\frac{70}{64} = 1{,}0937.$

Hat man den Reductionsfactor einer größeren Tangentenbussole durch

genaue Versuche ermittelt, so kann man aus demselben die horizontale Intensität des Erdmagnetismus am Beobachtungsorte berechnen. Der Strom, welcher an unserer größeren Bussole (380^{mm} Durchmesser) eine Ablenkung von 45^0 hervorbringt, hat nach chemischem Maaß die Stromstärke

70

nach absolutem Maaß ist die Stromstärke

$$g = \frac{T . 190}{2 . 3,14}.$$

Das chemische Maaß verhält sich aber zum absoluten Maaß wie 1 : 1,0477; nach absolutem Maaß hat also jener Strom den Zahlenwerth $\frac{70}{1,0477} = 66,813$. Wir haben also

$$66,813 = \frac{T . 190}{2 . 3,14}$$

und daraus

$$T = 22,083.$$

Nach den Karten ist der Werth von T für Freiburg 22,1, was mit dem oben berechneten sehr gut übereinstimmt.

Um die Größe des chemischen Effectes zu ermitteln, welchen ein Strom hervorbringt, könnte man auch, statt die Menge des gebildeten Knallgases dem Volumen nach zu messen, die Menge des zersetzten Wassers dem Gewicht nach bestimmen, wie es Kasselmann (Ueber die galvanische Kohlenzinkkette, S. 68) gethan hat, und danach das Volumen der gebildeten Gasmenge berechnen. Diese Beobachtungsweise ist einer großen Genauigkeit fähig und sie ist deshalb jedem zu empfehlen, welchem eine genaue Waage zu Gebote steht. Die oben mitgetheilten Versuche liefern jedoch den Beweis, daß auch die directe Messung der Gasvolumina sehr genaue Resultate giebt.

109 **Widerstand des Elementes.** Die Stromstärke einer galvanischen Combination kann mittelst eines Rheometers direct gemessen und nach den so eben mitgetheilten Grundsätzen auf eine bestimmte Einheit, wozu, der allgemeinen Verbreitbarkeit wegen, die chemische Einheit am zweckmäßigsten ist, reducirt werden. Die Kenntniß der Stromstärke aber, welche der Apparat in einem besonderen Fall bei einer bestimmten Größe des außerwesentlichen Widerstandes liefert, reicht nicht hin, um die Wirkung des Apparates in allen Fällen bestimmen zu können; zu diesem Zweck muß der wesentliche Widerstand der Kette und die elektromotorische Kraft derselben bekannt sein. Gehen wir zunächst zur Bestimmung des wesentlichen Widerstandes über.

Die Widerstände müssen so gut wie die Stromstärke auf eine bestimmte Einheit bezogen werden, wenn die Resultate verschiedener Experi-

mentatoren vergleichbar sein sollen. Auch hier sind verschiedene Einheiten in Vorschlag und Anwendung gebracht worden. Mehrere Physiker nehmen als Einheit des Widerstandes den Widerstand eines Kupferdrahts an, welcher 1 Meter lang ist und einen Durchmesser von 1^{mm} hat. Diese Einheit werde ich in der Folge stets zu Grunde legen.

Um den Widerstand der Kette zu ermitteln, muß man bekanntlich die Stärke des Stromes messen, wenn der Reihe nach verschiedene Widerstände in den Schließungsbogen eingeschaltet sind.

Man muß also zunächst den Widerstand der eingeschalteten Drahtstücke auf die angenommene Einheit zurückführen. Dies wäre nun am einfachsten, wenn man zur Einschaltung nur Kupferdraht von 1^{mm} Durchmesser und verschiedener Länge anwendete; für ein 10, 15, 20 u. s. w. Meter langes Stück dieses Normaldrahtes wäre dann der Widerstand gleich 10, 15, 20 u. s. w. Da es aber schwer hält, Draht zu bekommen, welcher genau diesen Durchmesser hat, so wendet man Drähte an, welche nahezu diesen Durchmesser haben, mißt denselben genau und berechnet dann, wie lang ein Kupferdraht seyn müßte, welcher bei 1^{mm} Durchmesser denselben Widerstand äußert. Bei der Berechnung des wesentlichen Widerstandes der Kette bringt man dann diese reducirte Drahtlänge in Anwendung.

Der Querschnitt unseres Normaldrahts hat einen Querschnitt von 0,785$\square^{mm}$. Da nun bei gleichem Widerstand die Länge der Drähte im Verhältniß ihrer Querschnitte wachsen muß, so ist klar, daß ein l Meter langer Kupferdraht, dessen Radius r und dessen Querschnitt also πr^2 ist, denselben Widerstand leistet wie ein Normaldraht von der Länge

$$L = \frac{l\ 0{,}785}{\pi r^2}$$

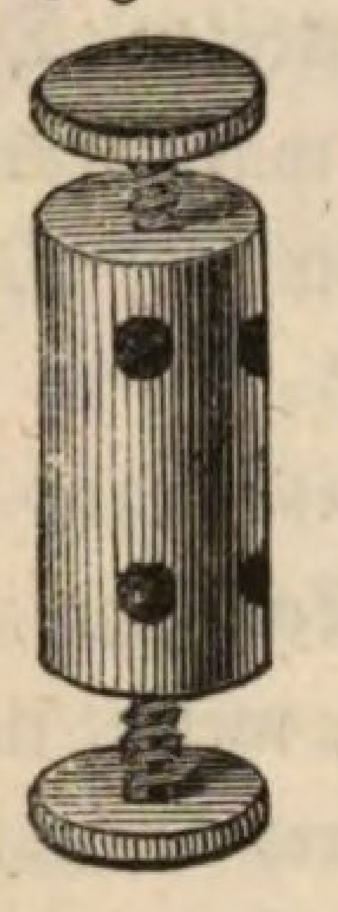
hier ist also L die reducirte Drahtlänge. Ein Draht z. B., welcher einen Durchmesser von 0,74^{mm}, also einen Querschnitt von 0,43 Quadratmillimetern und eine Länge von 6 Metern hat, wird also denselben Widerstand leisten, wie ein $\frac{6\ .\ 0{,}785}{0{,}43} = 10{,}95$ Meter langer Kupferdraht von 1^{mm} Durchmesser; 10,95 ist also die reducirte Länge des zum Versuch angewandten Drahtes.

Von diesem Einschaltungsdraht von Kupfer hält man sich mehrere Stücke von verschiedener Länge, etwa 5, 10, 20 u. s. w. Meter lang für dergleichen Versuche ein für alle Mal bereit. Statt längerer Drahtstücke von Kupfer wendet man zweckmäßiger kürzere Drahtstücke von schlechter leitenden Metallen an, wie Platin, Eisen oder Neusilber; ihren Widerstand auf Normaldraht reducirt, muß man aber alsdann durch den Versuch ermitteln. Drähte bis zu ungefähr 10 Meter

Länge kann man bequem in die Schraubengänge aufwinden, welche in einen Holzcylinder von 2 bis 3 Zoll Durchmesser und entsprechender Länge eingeschnitten sind. Längere Drähte wendet man mit Seide übersponnen und auf Holzrollen aufgewickelt an. Auf diese Holzcylinder oder Holzrollen kann man dann gleich die auf Normaldraht reducirte Länge der Drahtstücke aufschreiben, so daß man in der Folge keine Reductionsrechnungen für die eingeschalteten Drähte mehr nöthig hat.

Um den Draht bequem in den Schließungsbogen einzuschalten, kann man Drahtklemmen anwenden, wie sie in Fig. 92 abgebildet sind.

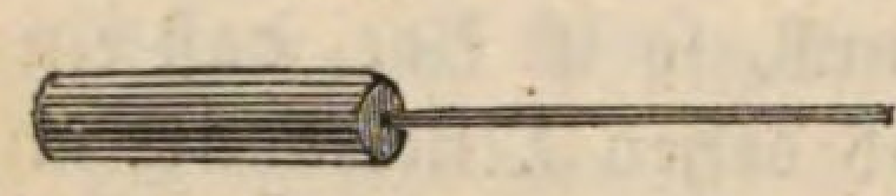
Fig. 92.



Wie diese Schraubenklemmen anzuwenden sind, bedarf wohl keiner weiteren Erläuterung.

Um auch dicke Drähte in die Löcher der Schraubklemmen befestigen zu können, müssen aber diese Löcher wenigstens 1 Linie im Durchmesser haben. Dadurch ist aber das Festklemmen dünner Drähte etwas erschwert und bei öfterem Gebrauche derselben läuft man Gefahr, die Enden dieser Drähte abzuquetschen. Da nun aber die Einschaltungsdrähte nicht gar zu dick seyn dürfen und immer dieselbe Länge behalten sollen, so thut man wohl, die Enden der Drähte in etwa 2,5 Millimeter dicke Hülsen von Kupfer oder Messing einzulöthen (Fig. 93), die man dann bequem in die Löcher der Schraubklemmen festschrauben kann.

Fig. 93.



Nörrenberg wendet zur metallischen Verbindung von Drahtstücken Drahtfedern an, wie sie in Fig. 94 und Fig. 95 dargestellt sind. Diese

Fig. 94.

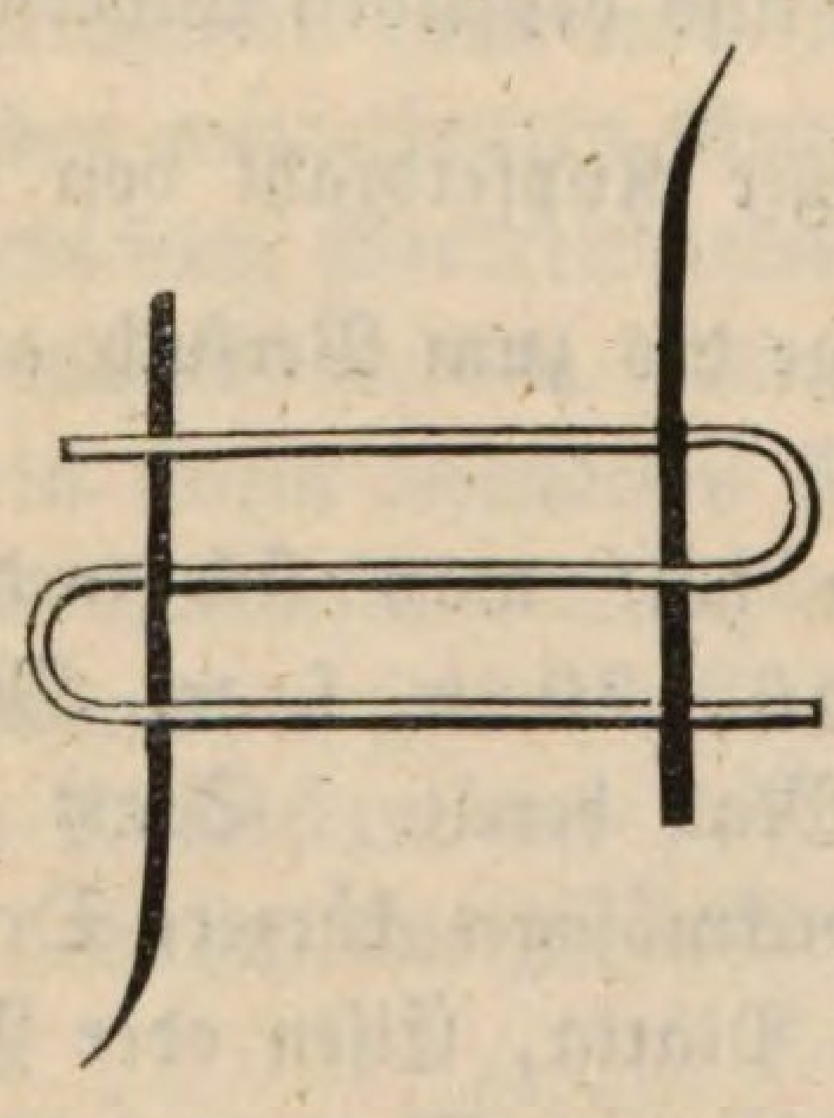
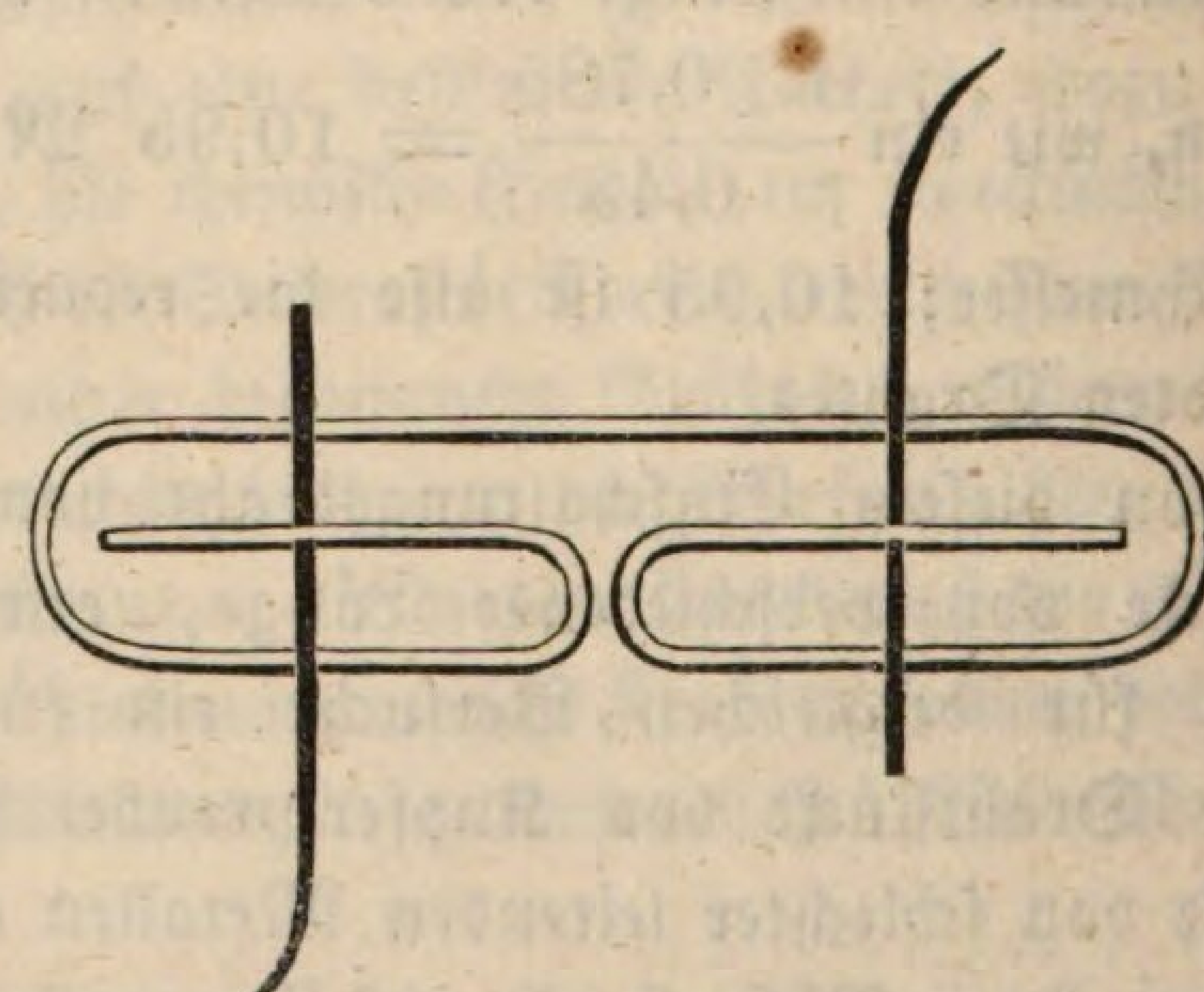


Fig. 95.



Drahtfedern sind namentlich deshalb zu empfehlen, weil die Verbindung

und die Trennung mittelst derselben sehr leicht und schnell vollzogen werden kann.

Es versteht sich von selbst, daß man zur Einschaltung verschieden langer Drahtstücke mit Vortheil auch einen Rheostaten anwenden kann.

Bezeichnen wir mit E die elektromotorische Kraft der galvanischen Kette, mit R den wesentlichen Leitungswiderstand, so ist nach dem Ohmischen Gesetz die Stromstärke

$$s = \frac{E}{R} \; \ldots\ldots \; 1)$$

bei vollkommen metallischer Schließung, d. h. bei solcher, deren Leitungswiderstand gegen den des Elements vernachlässigt werden kann. Schaltet man die reducirte Drahtlänge l ein, so wird nur die Stromstärke

$$s' = \frac{E}{R + l} \; \ldots\ldots \; 2).$$

Hier ist s, s' durch die Beobachtung gegeben, außerdem ist noch l bekannt, man kann also aus diesen beiden Gleichungen E eliminiren und den Werth von R berechnen. Die folgenden Tabellen geben eine Reihe von Beobachtungen, welche zur Ermittelung des Leitungswiderstandes verschiedener Ketten angestellt wurden:

Bunsen'sche Kette von Deleul.

	Einschaltung.	Ablenkung	Tangente der Ablenkung.	Stromstärke.	R	E
	Meter					
1	0 68,7	33° 30′ 8°	0,7133 0,1405	49,931 9,835	16,8	883
2	0 7,2	24° 52′ 20° 7′	0,463 0,366	32,41 25,62	27,16	880
3	0 50,7	24° 52′ 9°	0,463 0,158	32,41 11,06	26,10	847
					Mittel	855
4	0 7,2	57 38	1,54 0,781	107,8 54,67	7,44	802
5	0 29,2	57 17,8	1,54 0,321	107,8 22,47	7,72	832
6	0 49	57 11,8	1,54 0,21	107,8 14,7	7,74	834
					Mittel	823
			Mittel aus allen 6 Beobachtungen			839

Bunsen'sche Kette von Stöhrer.

	Einschaltung.	Ablenkung.	Tangente der Ablenkung.	Stromstärke.	R	E
	Meter					
1	{ 0 { 68,7	61 8,5	1,804 0,149	121,24 } 10,43 }	6,2	783
2	{ 0 { 68,7	31,5 7,25	0,613 0,127	42,91 } 8,86 }	18	772
					Mittel	777

Grove'sche Kette.

	Einschaltung.	Ablenkung.	Tangente der Ablenkung.	Stromstärke.	R	E
	Meter					
1	{ 0 { 7,2	30,8 23,5	0,596 0,435	41,7 } 30,4 }	19,4	809
2	{ 0 { 29,2	30,8 13,7	0,596 0,245	41,7 } 17,1 }	20,4	851
3	{ 0 { 49	30,8 9,7	0,596 0,171	41,7 } 12,0 }	19,8	828
					Mittel	829

Daniell'sche Kette.

	Einschaltung.	Ablenkung.	Tangente der Ablenkung.	Stromstärke.	R	E
	Meter					
1	{ 0 { 68,7	32 5,45	0,625 0,101	43,75 } 7,07 }	11,1	486
2	{ 0 { 7,2	16,8 12,75	0,302 0,266	21,14 } 15,82 }	21,5	454
					Mittel	470

Smee'sches Element.

	Einschaltung.	Ablenkung.	Tangente der Ablenkung.	Stromstärke.	R	E
	Meter					
1	0 7,2	26° 12,25	0,488 0,217	34,16 15,19	5,3	181
2	0 29,2	26 5,25	0,488 0,092	34,16 15,19	7	239
					Mittel	210

Wollastone'sches Element.

	Einschaltung.	Ablenkung.	Tangente der Ablenkung.	Stromstärke.	R	E
	Meter					
1	0 7,2	23,6 11,6	0,437 0,205	30,58 14,17	6,3	193
2	0 29,2	23,6 5	0,437 0,087	30,58 6,12	7,3	223
					Mittel	208

In der letzten Verticalreihe stehen die berechneten Werthe der elektromotorischen Kraft, welche später besprochen werden soll. Zu den einzelnen Versuchen, deren Ergebnisse in der Tabelle aufgenommen sind, müssen noch einige Erläuterungen beigefügt werden.

Die unter der Aufschrift Einschaltung angegebenen Zahlen geben gleich die reducirte Länge der eingeschalteten Drahtstücke an.

Die Schwefelsäure, welche bei dem ersten Versuch mit der von Deleuil verfertigten Zinkkohlenkette angewandt wurde, war ungefähr mit der 10fachen Wassermenge verdünnt; bei den Versuchen 2 und 3 war schon gebrauchte und noch weit mehr verdünnte Schwefelsäure in Anwendung gebracht worden. Die Salpetersäure hatte ein specifisches Gewicht 1,18.

Bei den drei letzten Versuchen war die Schwefelsäure mit der 5fachen Wassermenge verdünnt, die Salpetersäure hatte ein specifisches Gewicht von 1,36.

Bei den Versuchen mit der von Stöhrer construirten Zinkkohlenkette wurde die gleiche Säure gebraucht, wie bei dem ersten Versuche mit der Deleuil'schen; der bedeutende Unterschied im Widerstande des Elements in beiden Versuchen liegt also hier nicht in der Natur der Säure, sondern

er ist durch die porösen Zellen veranlaßt. Bei dem zweiten Versuch mit der Stöhrer'schen Kette wurden nämlich nicht seine eigenen, ausgezeichnet guten, aber leider sehr zerbrechlichen Zellen angewandt, sondern irdene Zellen, welche ein hiesiger Hafner gemacht hatte. Durch die Anwendung dieser rothen irdenen Zellen wurde der Widerstand des Elements auf das dreifache gesteigert, woraus man ersieht, welchen bedeutenderen Einfluß die Thonzellen auf den Leitungswiderstand des Elementes und also auch auf die Stromstärke haben.

Bei der Daniell'schen Kette wurden ebenfalls die rothen Thonzellen in Anwendung gebracht, bei dem ersten Versuch stand das Zink in einer Mischung von 1 Theil Schwefelsäure auf 10 Theile Wasser; bei dem letzten Versuche wurde schon gebrauchte und noch mehr verdünnte Säure angewandt.

Damit die Tangentenbussole einen sicheren Stand hat, war dieselbe auf ein dickes eichenes Brett gestellt worden, welches in einer Fensternische auf beiden Seiten eingemauert ist, so daß das Gehen in der Stube keine Erschütterungen der Nadel hervorbringt. Von der Tangentenbussole gehen dicke kupferne Leitungsdrähte an der Wand her, an welcher sie ein für allemal befestigt sind, über eine Thüre zu dem Tisch, auf welchem die Kette steht.

Der Widerstand dieser ganzen Drahtleitung sammt der Tangentenbussole ist gleich 1,75; d. h. er ist gleich dem Widerstand eines 1^{mm} dicken und 1,75 Meter langen Kupferdrahtes. Dieser Widerstand ist bei den in obiger Tabelle mitgetheilten Werthen von R dem wesentlichen Widerstand des Elementes noch beigerechnet, die wahren Werthe von R sind also stets um 1,75 kleiner; wir erhalten also

für die Deleuil'sche Kette

1) $R = 15{,}05$ (10 Wasser, 1 Schwefelsäure)
2) $R = 24{,}88$ (gebrauchte und noch mehr verdünnte Säure)
3) $R = 5{,}85$ (5 Wasser, 1 Schwefelsäure);

für die Stöhrer'sche Kette

1) $R = 4{,}45$ (weiße Zellen) } 10 Wasser
2) $R = 16{,}25$ (rothe Zellen) } + 1 Schwefelsäure;

für die Daniell'sche Kette

1) $R = 9{,}35$ (10 Wasser, 1 Schwefelsäure)
2) $R = 19{,}75$ (gebrauchte und noch mehr verdünnte Schwefelsäure.

Der Widerstand des Elementes hängt von der Natur der Flüssigkeiten und von der Größe der Plattenpaare ab; um also die Leitungsfähigkeit verschiedener galvanischer Combinationen gehörig vergleichen zu können, muß man den Widerstand auf gleiche Größe der Plattenpaare reduciren,

man muß also die Oberfläche der Plattenpaare der Elemente kennen, mit welchen man den Versuch angestellt hat.

Die oben besprochenen galvanischen Elemente haben folgende Dimensionen.

Deleuil'sches Element.

	Durchmesser	Höhe	Flächeninhalt
Zink	3,7 cent.	10 cent.	1,16□dm
Kohle	5,5	9,5	1,61
			Mittel 1,38.

Stöhrer'sches Element.

Zink	5	12	1,88
Kohle	7	15	3,40
			Mittel 2,64.

Daniell'sches Element.

Zink	15	21	9,76
Kupfer	10	22	6,81
			Mittel 8,34.

Als Höhe der Cylinder ist hier die Höhe des in der Flüssigkeit stehenden Theiles derselben angegeben. — Bei den Stöhrer'schen Kohlencylindern ist auch der Boden bis auf ein Loch in der Mitte geschlossen, die innere Oberfläche des Bodenstücks mußte demnach der Oberfläche des Kohlencylinders beigezählt werden.

Um die Oberflächen verschiedener Elemente bequemer vergleichen zu können, ist das Mittel aus dem positiven und negativen Cylinder ermittelt worden, wir wollen es die mittlere Oberfläche des Elementes nennen. Auf 1 Quadratdecimeter mittlerer Oberfläche reducirt, ergeben sich folgende Widerstände.

a) Deleuil'sches Element 21
b) Stöhrer'sches Element 12
c) Stöhrer'sches Element 43
d) Daniell'sches Element 78
e) Wollaston'sches Element. . . . . . . 13,6.

Bei gleicher Oberfläche würden sich also die Widerstände der Elemente wie die hier mitgetheilten Zahlen verhalten.

Der Werth 21 des Widerstandes des Deleuil'schen Elementes für 1□dm mittlere Oberflächen bezieht sich auf den Fall, daß der Zinkcylinder in einer Mischung von 1 Theil Schwefelsäure auf 10 Theile Wasser steht.

Die für das Stöhrer'sche Element angegebenen Zahlen beziehen sich auf dieselbe Flüssigkeit, und zwar die unter b) angegebene Zahl für Leip=

ziger, die unter c) angegebene Zahl für rothe Thonzellen. Der Widerstand der Daniell'schen Kette gilt für denselben Verdünnungsgrad der Schwefelsäure und für rothe Zellen.

Wenn bei gleicher Oberfläche und gleicher Flüssigkeit der Widerstand des Deleuil'schen Elementes (a) sich zu dem des Stöhrer'schen (b) verhält wie 21 : 12, so liegt diese Verschiedenheit lediglich in der Ungleichheit der Thonzellen.

Durch Anwendung rother Thonzellen (c) statt der weißen (b), wird der Leitungswiderstand des Elements im Verhältniß von 12 : 43 vermehrt, er wird 3,6mal größer. Es läßt sich also erwarten, daß durch Anwendung von Leipziger Thonzellen der Widerstand der Zinkkupferkette 3,6mal geringer wird als bei Anwendung der irdenen Zellen, daß er also für 1 Quadratdecimeter der mittleren Oberfläche $\frac{78}{3,6} = 21,6$.

Das Wollaston'sche Element war in eine Flüssigkeit getaucht, welche 1 Theil Schwefelsäure auf 20 Theilen Wasser enthielt. Als 1 Quadratdecimeter Zink eingetaucht war, ergab sich der Widerstand (Tabelle S. 257), im Mittel gleich 6,8. Da aber jede Zinkseite wirksam ist, so ist also 6,8 der Widerstand für eine wirksame Zinkoberfläche von 2 Quadratdecimetern; für 1 Quadratdecimeter ist also der Widerstand 13,6; für stärkere Säure würde natürlich der Widerstand bedeutend abnehmen.

110 **Elektromotorische Kraft.** Mittelst der beiden Gleichungen 1 und 2 auf Seite 255 kann man sowohl den Widerstand R des Elementes als auch die elektromotorische Kraft E berechnen. Für die oben bereits mitgetheilten Messungen ergeben sich die Werthe der elektromotorischen Kraft der Zinkkohlenkette von Stöhrer und Deleuil, und für die Zinkkupferkette, wie sie in der Tabelle auf Seite 256 unter E bereits mitgetheilt worden sind, nämlich:

für die Zinkkohlenkette von Deleuil

883
880
847

Mittel 855

für die Zinkkohlenkette von Stöhrer

783
772

Mittel 777

für die Zinkkupferkette

486
454

Mittel 470.

Die Werthe für die elektromotorische Kraft einer und derselben Kette ergeben sich sehr nahe gleich, wie auch die Natur der Flüssigkeit und mit ihr der Leitungswiderstand sich ändern mag. Ja die elektromotorische Kraft der Stöhrer'schen Zinkkohlenkette ergiebt sich nur um 0,1 verschieden von der von Deleuil construirten. Dieser Umstand ist bereits oben, Seite 229, näher besprochen worden.

Es ist jetzt noch zu erläutern, was man unter diesen Zahlen zu verstehen hat; die elektromotorische Kraft ist diejenige Kraft, welche den Strom in Bewegung setzt. Diese Kraft können wir natürlich, wie auch die Stromstärke, nur durch ihre Wirkungen messen.

Die elektromotorische Kraft der Volta'schen Säule ist der elektrischen Spannung der Pole bei geöffnetem Schließungsbogen proportional, man könnte also diese Spannung als Maaß der elektromotorischen Kraft in Anwendung bringen, wenn die Messung dieser elektrischen Spannung an den Polen nicht so sehr gering wäre, daß sie bei Säulen von wenigen Plattenpaaren oder Elementen nicht mehr mit einiger Genauigkeit ermittelt werden kann. — Das Ohm'sche Gesetz lehrt uns aber, daß auch die Stromstärke der geschlossenen Kette der elektromotorischen Kraft proportional ist, und da man die Stromstärke mit großer Genauigkeit messen und auf bestimmte Einheiten reduciren kann, so ist es zweckmäßiger, die Stromstärke zum Maaß der elektromotorischen Kraft zu machen. Wir haben

$$S = \frac{E}{W},$$

wo W den Gesammtwiderstand bezeichnet, welchen der Strom zu überwinden hat. Für den Fall daß $W = 1$ ist, haben wir

$$S = E.$$

E ist also die Stromstärke, welche die Kette geben würde, wenn der Leitungswiderstand $= 1$ wäre. Bei Zugrundelegung unserer Einheiten für Stromstärke und Widerstand bezeichnen also die Werthe für die elektromotorische Kraft, also die Zahlenwerthe für E, die Quantität Knallgas, welche der Strom einer Kette geben würde, wenn der Gesammtwiderstand gleich würde dem Widerstand eines 1 Meter langen und 1^{mm} dicken Kupferdrahtes; wenn wir also gefunden haben, daß die elektromotorische Kraft der Daniel'schen Zinkkupferkette 470 ist, so heißt das, daß der Strom der Daniell'schen Kette in jeder Minute 470 Cubikcentimeter Knallgas liefern würde, wenn die Summe aller Widerstände der bezeichneten Einheit des Widerstandes gleich wäre.

Ich halte es für einen großen Vorzug der schon oben empfohlenen chemischen Einheit der Stromstärke (= demjenigen Strom, welcher in der

Minute ein Cubikcentimeter Knallgas liefert), daß bei Zugrundelegung derselben die Werthe der elektromotorischen Kraft nicht bloß Verhältnißzahlen sind, sondern daß jede für sich allein eine ganz bestimmte und eben so leicht verständliche Bedeutung hat.

Obgleich Jakobi meines Wissens zuerst versucht hat, die Angaben der magnetischen Rheometer auf chemischen Effect zu reduciren, so hat er diese chemische Einheit der Stromstärke doch nicht weiter benutzt, namentlich hat er sie bei Berechnung der elektromotorischen Kraft nicht in Anwendung gebracht.

111 **Die elektromotorische Kraft ist der Spannung der offenen Kette proportional.** Es wurde bereits im vorigen Paragraphen die Behauptung ausgesprochen, daß man die elektrische Spannung an den Polen der offenen Kette als ein Maaß für die elektromotorische Kraft betrachten könne. Die Richtigkeit dieser Behauptung ist gewiß von den meisten Physikern stillschweigend angenommen worden, obgleich eine directe experimentelle Bestätigung wegen der Unvollkommenheit der Meßwerkzeuge nicht versucht werden konnte. — Kohlrausch hat nun diese Lücke ausgefüllt. Er hat, wie bereits auf Seite 29 bemerkt wurde, das äußerst empfindliche Dellmann'sche Elektrometer in ein Meßinstrument von großer Genauigkeit umgeschaffen. Durch die Combination dieses Instrumentes mit dem Condensator (P. A. LXXV. 88.) gelang es ihm die elektroskopische Spannung an den Polen einer geöffneten einfachen Kette mit solcher Schärfe zu bestimmen, daß über die Richtigkeit des eben ausgesprochenen Satzes kein Zweifel mehr stattfinden kann.

Durch diese Untersuchung hat Kohlrausch zugleich den Beweis geliefert, daß das Dellmann'sche Elektroskop, wie es aus seinen Händen hervorging, zu den feinsten elektrischen Untersuchungen geeignet ist. Was die nähere Beschreibung des Instrumentes und seines Gebrauchs betrifft, verweisen wir den Leser auf die trefflichen, bereits citirten Abhandlungen. Die Vergleichung der elektromotorischen Kraft mit der Spannung an den Polen der offenen Kette findet sich in einem dritten Aufsatze im LXXV. Bande von Poggendorff's Annalen Seite 220. Um die Resultate dieser Untersuchung verständlich machen zu können, müssen wir erst über die Art und Weise, wie aus den am Instrument gemachten Messungen Zahlenwerthe für die elektroskopische Spannung abgeleitet werden können, einiges nachholen, was oben im Paragraphen versäumt wurde.

Kohlrausch's Elektrometer kann auf zweierlei Weise als Meßinstrument gebraucht werden, nämlich:

1) Wenn man den oberen Theilkreis, den wir Torsionskreis nennen wollen, auf 90° stellt, so wird auch die bewegliche Nadel mit dem festen Metallstreifen einen Winkel von 90° bilden. Nadel und Streif werden

nun in Berührung gebracht, ihnen die zu messende Elektricität mitgetheilt, und dann die Verbindung zwischen Nadel und Streifen wieder aufgehoben. Dreht man nun den Torsionskreis auf 0 zurück, so wird die Nadel einen um so größeren Winkel mit dem Streifen bilden, je stärker die elektrische Ladung ist.

Die elektrische Ladung, welche einen Ausschlag von 10° hervorbringt, mit 1 bezeichnend, kann man die Stärke der elektrischen Ladung bestimmen, welche jedem einzelnen Ausschlagswinkel zukommt. Was die Details dieser Berechnung betrifft, so verweise ich auf Kohlrausch's Abhandlung im LXXII. Bande von Poggendorff's Annalen. Auf Seite 385 theilt er eine Tabelle mit, welche, natürlich nur für sein Instrument geltend, für jeden Ausschlagswinkel die entsprechende elektrische Spannung angiebt. Der Verständlichkeit halber wollen wir einen Auszug aus dieser Tabelle mittheilen:

Ausschlags-winkel.	Stärke der elektrischen Spannung.
10	1
20	1,94
30	3,06
40	4,39
50	6,10
60	8,30
70	11,40
80	18,33.

Wenn also die Ladung, welche den Ablenkungswinkel von 10° hervorbringt, mit 1 bezeichnet wird, so ist die elektrische Ladung, welche die Ausschlagswinkel 40°, 60°, 80° hervorbringen, gleich 4,39 — 8,30 — 18,33.

Kohlrausch's Tabelle geht von Grad zu Grad fort.

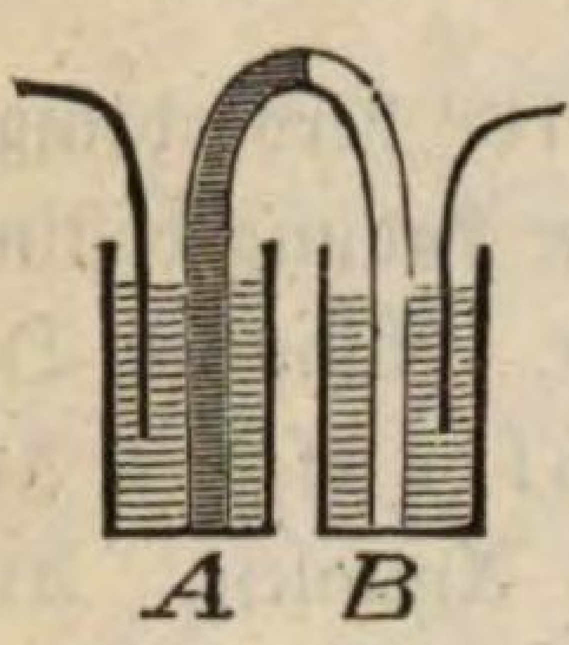
2) Man kann noch auf eine zweite Art das Instrument zum Messen elektrischer Ladungen anwenden. Nachdem nämlich bei rechtwinkliger Stellung von Nadel und Streifen, während beide in Berührung waren, Elektricität mitgetheilt worden war, und nur die Berührung wieder aufgehoben worden ist, kann man durch Drehung des Torsionskreises es dahin bringen, daß der Ausschlagswinkel stets eine und dieselbe Größe, etwa 30° hat. Aus bekannten Gründen ist alsdann die elektrische Ladung der Quadratwurzel auch der Torsion des Fadens proportional, welche nöthig ist, um die Nadel auf die Ablenkung von 30° zu erhalten.

Nach beiden Methoden bestimmt nun Kohlrausch die Spannung an

den Polen verschiedener einfacher Ketten; diese waren folgendermaßen arrangirt.

Die beiden Metalle waren zusammen gelöthet; das eine tauchte in die

Fig. 96.



Flüssigkeit des Gefäßes *A* (Fig. 96), das andere in die Flüssigkeit des Gefäßes *B*; in jedes Gefäß tauchte nun noch ein Messingdraht, welcher den Pol bildet. Der eine der Messingdrähte war gut abgeleitet, der andere wurde mit der Collatorplatte des Condensators verbunden. Es wurde nach den beiden oben angeführten Methoden für jede Kette die Spannung, des positiven Pols sowohl wie die des negativen, durch mehrere Versuche bestimmt, und das Mittel aus allen genommen.

Die elektromotorische Kraft der verschiedenen galvanischen Elemente bestimmte Kohlrausch nach der Wheatstone'schen Methode, von welcher alsbald die Rede sein wird. Die folgende Tabelle enthält die Resultate seiner Messung.

Beschreibung der Kette.	Elektromotorische Kraft.	Spannuug der geöffneten Kette.	
		I.	II.
1) Zink in Zinkvitriol — Platin in Salpetersäuer von 1,357 spec. Gew.	28,22	28,22	28,22
2) Zink in Zinkvitriol, jedoch die Salpetersäure von 1,213 spec. Gewicht	28,43	27,71	27,75
3) Zink in Zinkvitriol — Kohle in Salpetersäure von 1,213 spec. Gewicht	26,29	26,15	26,19
4) Zink in Zinkvitriol — Kupfer in Kupfervitriol	18,83	18,88	19,06
5) a. Silber in Cyankalium — Kochsalz — Kupfer in Kupfervitriol	14,08	14,27	14,29
b. Desgl. später	13,67	13,94	13,82
c. Desgl. noch später	12,35	12,36	12,26

Die Spannung der geöffneten Kette ist nach den beiden oben angeführten Methoden bestimmt. Die Zahlen unter I. sind die nach der ersten, die unter II. die nach der zweiten Methode erhaltenen.

Weil sowohl die Wurzeln aus den Torsionen als auch die Zahlen der

Tabelle auf S. 385 im LXXII. Bande von Poggendorff, welche die den verschiedenen Ausschlagswinkeln entsprechenden Spannungen angeben, so wie endlich die Zahlen, welche die elektromotorische Kraft ausdrücken, alle nach verschiedenen Einheiten gemessen sind, hat Kohlrausch, um die Zahlenresultate vergleichbarer zu machen, die Wurzeln aus den Torsionen sämmtlich mit 1,0239, die durch den Ausschlagswinkel bestimmten Werthe mit 1,8136 multiplicirt, wodurch bewirkt wird, daß die Resultate beim ersten Versuch ganz gleich bleiben. Da nun aber auch die übrigen entsprechenden Zahlen sehr nahe übereinstimmen, so ist durch diese Versuchsreihe experimentell bewiesen, daß die elektromotorische Kraft der elektroskopischen Spannung an den Polen der geöffneten Kette proportional ist.

Es ließe sich dieser Satz wohl auch mit weniger empfindlichen Elektrometern nachweisen, wenn man die Spannung an den Polen nicht eines einzelnen Elementes, sondern einer Säule von 30, 40 und noch mehr Elementen bestimmte.

Kohlrausch's Instrument wäre gewiß auch sehr geeignet, eine theoretische Streitfrage zu lösen, dem bereits Oben Erwähnung geschehen ist. Wenn man in ein Gefäß mit Wasser einen Zinkstreifen und einen Platinstreifen eintaucht, ohne daß sich dieselben berühren, so müßte, nach Schönbein's Ansicht, wie sie auf S. 238 entwickelt und in Fig. 89 versinnlicht ist, das obere Ende des Zinkstreifens freie negative, das obere Ende des Platinstreifens freie positive Elektricität zeigen, während es nach den Grundsätzen der Contacttheorie umgekehrt sein muß. — Es wäre zu wünschen, daß Kohlrausch selbst dies untersuchte, weil er nicht allein ein vorzügliches Instrument der Art besitzt, sondern auch eine große Geschicklichkeit in der Handhabung des Apparats erlangt hat.

Indirecte Methoden zur Bestimmung der Constanten der Kette. 112 Das in dem Obigen durchgeführte, aus den Formeln 1 und 2 sich ergebende Verfahren, um Widerstand und elektromotorische Kraft einer galvanischen Kette zu ermitteln, diese Methode, zur Bestimmung der Constanten, welche wir die Ohm'sche nennen wollen, ist ebenso einfach als genau, wenn man nur mit zweckmäßigen Meßapparaten versehen ist und genügend constante Ketten anwendet. Beides aber fehlte in den ersten Zeiten nach der Publikation des Ohm'schen Gesetzes, und so kam es denn, daß man complicirtere Methoden anwenden mußte, um nur einigermaaßen übereinstimmende Resultate zu erhalten. Erst nach und nach gelang es, zum Einfachen zurückzukehren, eine Erscheinung, der wir in der Geschichte der Physik sehr oft begegnen.

Zunächst fehlte es an einem zur Messung der Stromstärke geeigneten Instrumente, denn die Multiplicatoren, welche man in Anwendung brachte,

litten an zwei Uebelständen; zunächst waren sie nur für schwache Ströme brauchbar, dann aber besteht kein einfaches Gesetz zwischen dem Ablenkungswinkel und der Stromstärke.

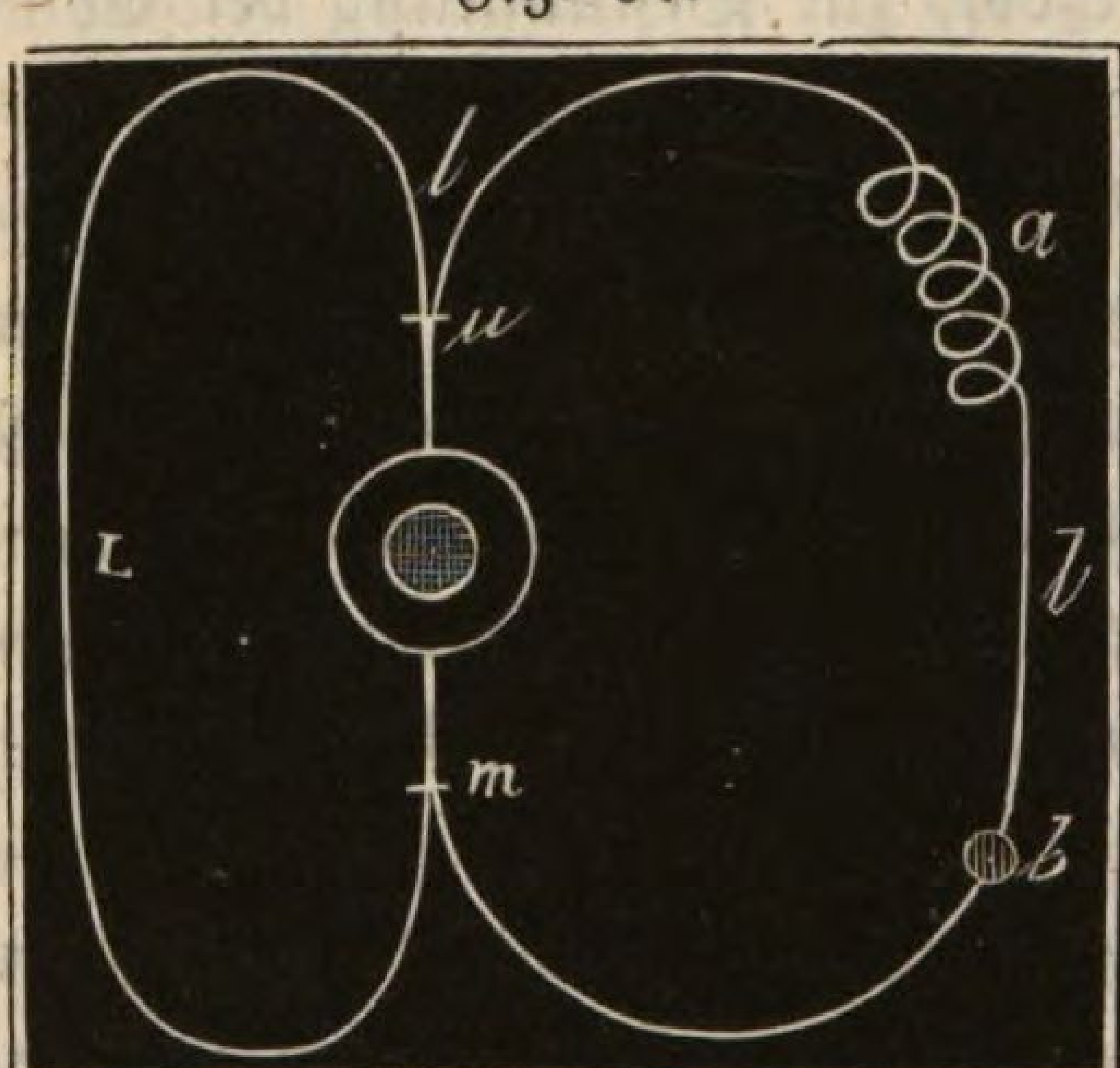
Mehrere Gelehrte haben freilich zum Theil sehr sinnreiche Methoden angegeben, ein Galvanometer zu graduiren, d. h. um auf empirischem Wege zu ermitteln, wie sich die verschiedenen Ablenkungsgrade zu den Stromstärken verhalten, da sie jedoch zur allgemeinen Anwendung nicht sehr geeignet scheinen und nur in den Händen geschickter Physiker brauchbare Resultate liefern werden, so möchte es wohl Entschuldigung finden, wenn ich hier diese Graduirungsmethoden nicht näher auseinandersetze. Die Methode, welche Poggendorff angegeben hat, um das Galvanometer als Meßwerkzeug anzuwenden, finden sich im LVI. Bande seiner Annalen, S. 324. In diesem Aufsatze findet man auch eine kurze Zusammenstellung der von andern Physikern zu gleichem Zwecke angegebenen Methoden mit Angabe der Quelle, auf welche ich diejenigen verweisen muß, welche in's Detail dieses Gegenstandes einzugehen beabsichtigen.

Fechner wandte zur Bestimmung der Stromstärke nicht die Ablenkung der Nadel, sondern die Oscillationsdauer der Nadel um ihre Gleichgewichtslage für den Fall an, daß die Windungen des Multiplicators dieser Gleichgewichtslage parallel sind.

Diese Oscillationsmethode ist zu mühsam, um eine allgemeinere Anwendung zu gestatten.

So sah man sich denn nach Methoden zur Ermittelung der Constanten der Kette (elektromotorische Kraft und Widerstand) um, welche die Kenntniß der Stromstärke gar nicht erfordern. Ja man fuhr selbst in diesen Bestrebungen noch fort, nachdem Pouillet's und Weber's Tangenbussole, sowie die Sinusbussole schon bekannt waren. Es ist in der That auffallend, daß diese so wichtigen Instrumente, welche so große Vereinfachungen im Studium der galvanischen Gesetze möglich machten, nur allmälig allgemeinere Verbreitung und Anerkennung fanden.

Fig. 97.



Wir wollen die zweckmäßigsten dieser indirecten Methoden näher betrachten.

Jakobi giebt folgende Methode an (Pogg. Ann. LVIII. S. 85). Der Schließungsbogen der Kette ist in zwei Theile gespalten, wie es Fig. 97 angedeutet ist. Der Leitungswiderstand des einen Zweiges sei L, der Widerstand des andern Zweiges, in welchen das Rheostat bei a, das Galvanometer

bei b eingeschaltet ist, sey l, so ist der Leitungswiderstand, welchen diese beiden gleichzeitig eingeschalteten Schließungsbogen hervorbringen $\frac{lL}{L+l}$, folglich die gesammte Stromstärke, welche der Apparat liefert

$$S = \frac{E\,(L+l)}{\lambda\,(l+L)+lL},$$

wenn λ den Leitungswiderstand des Elementes (sammt den Drahtleitungen zwischen m und u) bezeichnet.

Der Theil des Gesammtstroms, welcher durch das Galvanometer geht, ist

$$S' = \frac{E\,L}{\lambda\,(l\,L+)+lL}.$$

Hebt man nun die Nebenschließung auf, so wird die Stromstärke in dem andern Schließungsbogen wachsen und man muß mittelst des Rheostats noch den Widerstand x hinzufügen, um die Galvanometernadel wieder auf ihren früheren Stand zu bringen; nun hat man aber für die Stromstärke S' den Werth

$$S' = \frac{E}{\lambda+l+x}.$$

Aus diesen und der vorigen Gleichung ergiebt sich nun für λ der Werth

$$\lambda = \frac{x\,L}{l},$$

Da nun x, L und l bekannt sind, so kann man nach dieser Methode den Widerstand des Elementes ermitteln, ohne den Werth für die Stromstärke zu kennen.

Bringt eine andere Kette, deren Widerstand λ' ist, mit den Widerständen l' und x' (l' und x' bezeichnen hier die den obigen l und x entsprechenden Größen) dieselbe Ablenkung am Galvanometer hervor, so hat man

$$S' = \frac{E'}{\lambda'+l'+x'}.$$

wir haben also

$$E:E' = (\lambda+l+x):(\lambda'+l'+x').$$

Man kann also nach dieser Methode das Verhältniß der elektromotorischen Kräfte verschiedener Volta'scher Combinationen ermitteln. Jakobi fand auf diese Weise, daß sich die elektromotorische Kraft der Daniell'schen Kette zu der der Grove'schen verhält wie 21 zu 35.

Wheatstone giebt ein sehr schönes Verfahren an, um die elektromotorische Kraft einer Kette zu bestimmen, ohne vorher einen Werth für den Widerstand der Kette gefunden zu haben (Pogg. Ann. LVII. S. 518).

Eine Kette, deren elektromotorische Kraft E ist, giebt die Stromstärke $S = \frac{E}{R}$, wenn R die Summe aller Widerstände ist. Ist die elektromo-

torische Kraft einer andern Kette $n$mal so groß, so muß auch der Gesammtwiderstand $n$mal so groß seyn, wenn diese zweite Kette dieselbe Stromstärke, also dieselbe Ablenkung (etwa 45°) am Galvanometer hervorbringen soll, denn es ist ja $\frac{E}{R} = \frac{nE}{nR}$.

Fügt man nun zu dem Widerstande R noch den Widerstand r hinzu, so wird die Stromstärke abnehmen, sie wird auf $\frac{E}{R+r}$ sinken, die Nadel des Galvanometers wird um eine bestimmte Anzahl von Graden (etwa um 5°) zurückgehen. Will man bei Einschaltung der zweiten Kette den Strom um ebenso viel schwächen, will man also die Nadel ebenfalls von 45° bis auf 40° zurückgehen machen, so wird man zu dem Widerstande nR noch den Widerstand nr hinzufügen müssen, denn wenn $\frac{E}{R} = \frac{nE}{nR}$ so ist auch $\frac{E}{R+r} = \frac{nE}{nR+nr}$. Die elektromotorischen Kräfte der beiden Ketten verhalten sich also wie die Widerstände, welche man den schon vorhandenen hinzufügen muß, um von einer bestimmten Ablenkung (etwa 45°) ausgehend, die Nadel um gleich viel (etwa 5°) Grade zurückgehen zu machen.

Um die elektromotorischen Kräfte verschiedener Ketten zu vergleichen, hat man also folgendes Verfahren einzuschlagen. Man schaltet in den Schließungsbogen der Kette außer dem Galvanometer noch das Rheostat und so viel Draht ein, daß die Ablenkung der Nadel 45° beträgt; dann vermehrt man den Widerstand durch Umdrehung des Rheostaten, bis die Ablenkung der Nadel nur noch 40° beträgt; die Anzahl der Umgänge ist dann ein Maaß für die elektromotorische Kraft der Kette.

Nehmen wir z. B. an, man lasse den Strom eines Daniell'schen Elementes durch den Rheostaten und das Galvanometer gehen, und habe soviel Draht eingeschaltet, daß die Ablenkung 45° beträgt. Um die Ablenkung von 45° auf 40° herabzubringen, habe man 30 Windungen des Rheostaten hinzufügen müssen.

Nun schalte man ein Grove'sches Element in denselben Schließungsbogen ein, und regulire den Gesammtwiderstand so, daß die Nadel ebenfalls auf 45° steht. Um sie jetzt auf 40 herunter zu bringen, müsse man aber den Widerstand um 50 Windungen des Rheostaten vermehren, dann würde sich die elektromotorische Kraft der Daniell'schen Kette zu der der Grove'schen verhalten wie 30 zu 50.

Es ist dies offenbar das einfachste Verfahren, um das Verhältniß der elektromotorischen Kräfte verschiedener Ketten zu ermitteln.

Wheatstone wandte als Rheometer einen Multiplicator an, und mußte

deshalb einen bedeutenden Widerstand einschalten, um die Stromstärke hydroelektrischer Elemente schwach genug zu machen. Unter diesen Umständen kann natürlich auch nur ein Rheostat mit dünnem Draht angewandt werden

Obgleich nun ursprünglich diese Methode für einen Multiplicator berechnet ist, so kann man sie doch auch eben auf jedes andere Rheometer, also auch auf das Torsionsgalvanometer, die Tangentenbussole u. s. w. anwenden. Bei diesen Instrumenten aber, welche stärkere Ströme gestatten, braucht man natürlich den Strom nicht sehr zu schwächen, und kann dann auch einen Rheostaten mit dickerem Draht anwenden.

Diese Wheatstone'sche Methode giebt uns die Werthe der elektromotorischen Kraft durch die Drahtlängen gemessen, welche erforderlich sind, um den besprochenen Rückgang der Nadel zu bewirken, diese Zahlen sind also abhängig von der Individualität des Galvanometers und des Rheostaten.

Als Beispiele für seine Methode führt Wheatstone folgende Messungen an. Drei kleine Daniell'sche Ketten*) von ungleicher Größe wurden successiv in die Kette gebracht. Um die Nadel von 45° auf 40° zurückzubringen, war folgende Anzahl von Umgängen des Rheostaten erforderlich:

Kupfercylinder	$1\frac{1}{2}$ Zoll hoch	2″ Durchm.	. . .	30 Umgänge
»	$3\frac{1}{2}$ »	» $2\frac{1}{2}$″	»	30 »
»	6 »	» $3\frac{1}{2}$″	»	30 »

Die elektromotorische Kraft ist also, der Theorie gemäß, von der Größe der Plattenpaare unabhängig.

Als der Reihe nach Säulen von 1, 2, 3, 4, 5 gleichen Elementen als Elektromotoren angewandt wurden, ergaben sich folgendn Resultate:

1 Element	erforderte	30 Umgänge
2 Elemente	erforderten	61 »
3 »	»	91 »
4 »	»	120 »
5 »	»	150 »

Die elektromotorische Kraft der Batterie ist also, wie es auch die Theorie ausspricht, der Anzahl der Plattenpaare proportional.

Ich habe nach dieser Methode die elektromotorische Kraft eines Daniell'schen, eines Grove'schen, eines Stöhrer'schen und eines Deleuil'schen Elementes bestimmt; ich wandte dabei die Tangentenbussolen und einen Rheostaten mit dickem Draht an.

---

*) Die Elemente waren etwas anders construirt als die gewöhnlichen Daniell'schen. Die poröse Thonzelle enthielt nämlich bloß flüssiges Zinkamalgam und stand so wie der sie umgebende Cylinder von Kupferblech in einer Lösung von Kupfervitriol.

Um die Nadel von 15° auf 10° zurückzubringen, waren nöthig

bei dem Daniell'schen	Element	. . .	9 Umgänge
» » Grove'schen	»	. . .	13 »
» » Stöhrer'schen	»	. . .	13,6 »
» » Deleuil'schen	»	. . .	15,1 »

Für die Deleuil'sche Kette war gleichzeitig die elektromotorische Kraft nach der chemischen Methode bestimmt worden, die Resultate dieser Bestimmungen finden sich bereits in der Tabelle auf pag. 256. Von den 6 Messungen für die Deleuil'sche Kette gehören die drei letzten hierher.

Nach diesen Bestimmungen ist es nun leicht, die Anzahl der Umgänge, welche nöthig sind, um die Nadel von 15 auf 10° zurückzubringen, auf die oben besprochene Einheit für die elektromotorische Kraft zu reduciren. Es entsprechen nämlich

15,1 Umgänge einer elektromotorischen Kraft . . . 823
also 1 Umgang » » » . . . 54,51.

Aus den durch Umdrehungen des Rheostaten ermittelten Zahlenwerthen für die elektromotorische Kraft würden sich also für dieselbe in unserer Einheit ausgedrückt folgende Werthe ergeben:

für die Daniell'sche	Kette	. . . . . .	490
» » Grove'sche	»	. . . . . .	709
» » Stöhrer'sche	»	. . . . . .	741.

Das Zink der Daniell'schen Kette stand bei der letzten Messung wieder in stärkerer Schwefelsäure, für welchen Fall die directe Messung den Werth 486 gegeben hatte. Für die Stöhrer'sche Kette wurde früher die elektromotorische Kraft etwas größer gefunden. — Die Zahlen für die Grove'schen Ketten differiren bedeutender, es ist deshalb auf dieselben kein Gewicht zu legen.

Auf dieselbe Weise, wie es hier geschehen ist, lassen sich die mittelst eines jeden Rheostaten gefundenen Werthe der elektromotorischen Kraft, welche noch mit der Individualität des Instrumentes behaftet sind, auf unsere Einheit reduciren, wenn man nur einmal den entsprechenden Factor ausgemittelt hat.

Um den Widerstand des Elementes zu bestimmen, hat Wheatstone mehrere Methoden angegeben, von denen wir hier nur die erste hervorheben wollen.

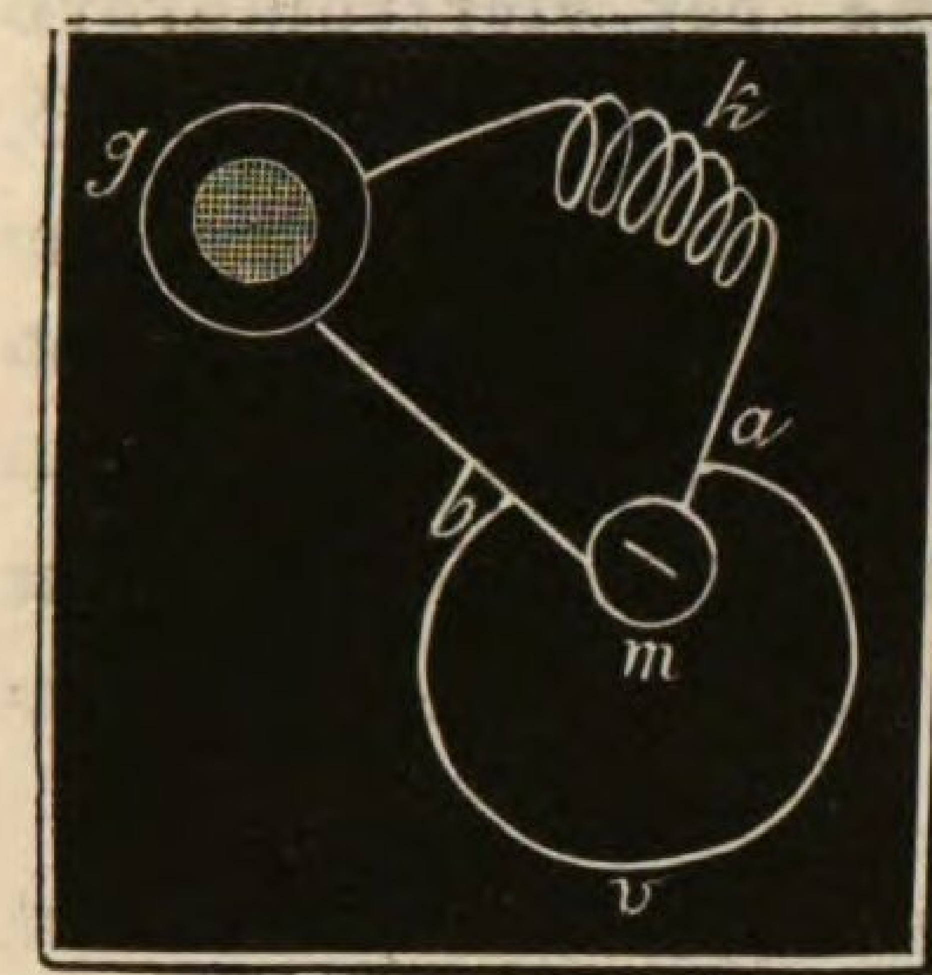
Man bringe das Galvanometer und den Rheostaten in die Kette und ajustire letztere so, daß die Nadel des ersteren auf einen bestimmten Punkt zu stehen kommt. Die Stromstärke S ist jetzt

$$S = \frac{E}{R + g},$$

wenn man mit E die elektromotorische Kraft, mit g den Leitungswiderstand

des Multiplicators, mit R den gesammten übrigen Leitungswiderstand in der Kette bezeichnet. Diese Anordnung wird durch Fig. 98 anscheinlich gemacht; g stellt das galvanische Element, k den Rheostaten, m den Multiplicator dar.

Fig. 98.



Nun zweige man den Strom, welcher durch den Galvanometer geht, durch einen Draht ab, dessen Widerstand ganz gleich ist dem Widerstande des Multiplicators, so wird nun von a aus die eine Hälfte des Stroms durch v nach b, die andere Hälfte durch den Multiplicator nach b gelangen. Der Widerstand zwischen a und b ist jetzt nur halb so groß als vorher, da nur der Multiplicator da war, die Stärke des ungetheilten Stromes ist demnach jetzt

$$\frac{E}{R + \frac{g}{2}}$$

von diesem Strome geht die Hälfte durch den Multiplicator, die Stärke des durch dies Instrument gehenden Stromes ist also jetzt nur

$$S' = \frac{1}{2} \cdot \frac{E}{R + \frac{1}{2} g}.$$

Man kann aber die Nadel dadurch wieder auf ihre ursprüngliche Stellung bringen, daß man mittelst des Rheostaten den Widerstand R gehörig verkleinert. Hat man durch Umdrehen des Rheostaten den Widerstand des ungetheilten Theils der Kette von R auf $\frac{1}{2}$ R herabgebracht, so ist nun die Stromstärke

$$S'' = \frac{1}{2} \cdot \frac{E}{\frac{R}{2} + \frac{g}{2}} = \frac{E,}{R + g'}$$

sie ist also wieder so stark wie anfänglich. Hat man also nach Einschaltung des Zweigdrahtes v eine Anzahl von n Windungen des Rheostaten aus der Kette entfernen müssen, um die ursprüngliche Ablenkung der Nadel wieder zu erhalten, so ist der gesammte Widerstand R des ungetheilten Theiles der Kette gleich den von 2 n Windungen.

Der Widerstand R besteht aber aus zwei Theilen, dem wesentlichen Widerstande des Elementes und dem Widerstande der Drahtleitungen von einem Pol des Elementes bis a, und vom anderen Pole bis b. Man hat den Widerstand dieser Drahtleitungen zu ermitteln und von R abzuziehen, um den wesentlichen Widerstand des Elementes zu finden.

Diese, so wie alle übrigen indirecten Methoden zur Bestimmung des wesentlichen Widerstandes eines Elementes sind nun freilich nicht so einfach,

daß man sie der oben besprochenen directen Bestimmung vorziehen möchte, wenn man über ein Instrument zur Messung der Stromstärke zu disponiren hat.

113 **Poggendorff's Methode zur Bestimmung der elektromotorischen Kraft inconstanter Ketten.** Im LIII. Bande seiner Annalen S. 436 theilt Poggendorff seine ersten Untersuchungen über die elektromotorische Kraft der Zinkeisenkette mit. Obgleich das Eisen in der Spannungsreihe dem Zink ungleich näher steht als Kupfer, so ist doch der Strom, welchen die Combination Zinkeisen in verdünnter Schwefelsäure liefert, stärker als der Strom eines Elementes von Kupfer und Zink in derselben Flüssigkeit und unter sonst ganz gleichen Umständen.

Dies Resultat schien auf den ersten Anblick im Widerspruche mit der Contacttheorie zu seyn, und deshalb unternahm Poggendorff eine genauere Prüfung. Er bestimmte, so gut es bei den veränderlichen Strömen von Ketten mit einer Flüssigkeit möglich ist, nach der Ohmischen Methode den Widerstand und die elektromotorische Kraft der beiden Combinationen, und fand, daß sich in der That die elektromotorische Kraft der Zinkeisenkette zu der der Zinkkupferkette verhält wie 21,5 zu 11,8.

Die elektromotorische Kraft der Zinkeisenkette ergab sich also wirklich größer als die der Zinkkupferkette, obgleich das Eisen in der Spannungsreihe zwischen Zink und Kupfer steht. Poggendorff erkannte ganz richtig, daß diese Anomalie lediglich in der Polarisation der Platten ihre Ursache haben könne. Die elektromotorische Kraft, welche ursprünglich den Strom in Bewegung setzt, ist zwar wesentlich durch die elektrische Differenz der beiden sich berührenden Metalle bedingt, allein sobald der Strom zu circuliren beginnt, erfahren die Metallplatten eine Polarisation, welche die ursprüngliche elektromotorische Kraft vermindert, und diese Polarisation ist bedeutender für die Combination Zinkkupfer als für die Combination Zinkeisen.

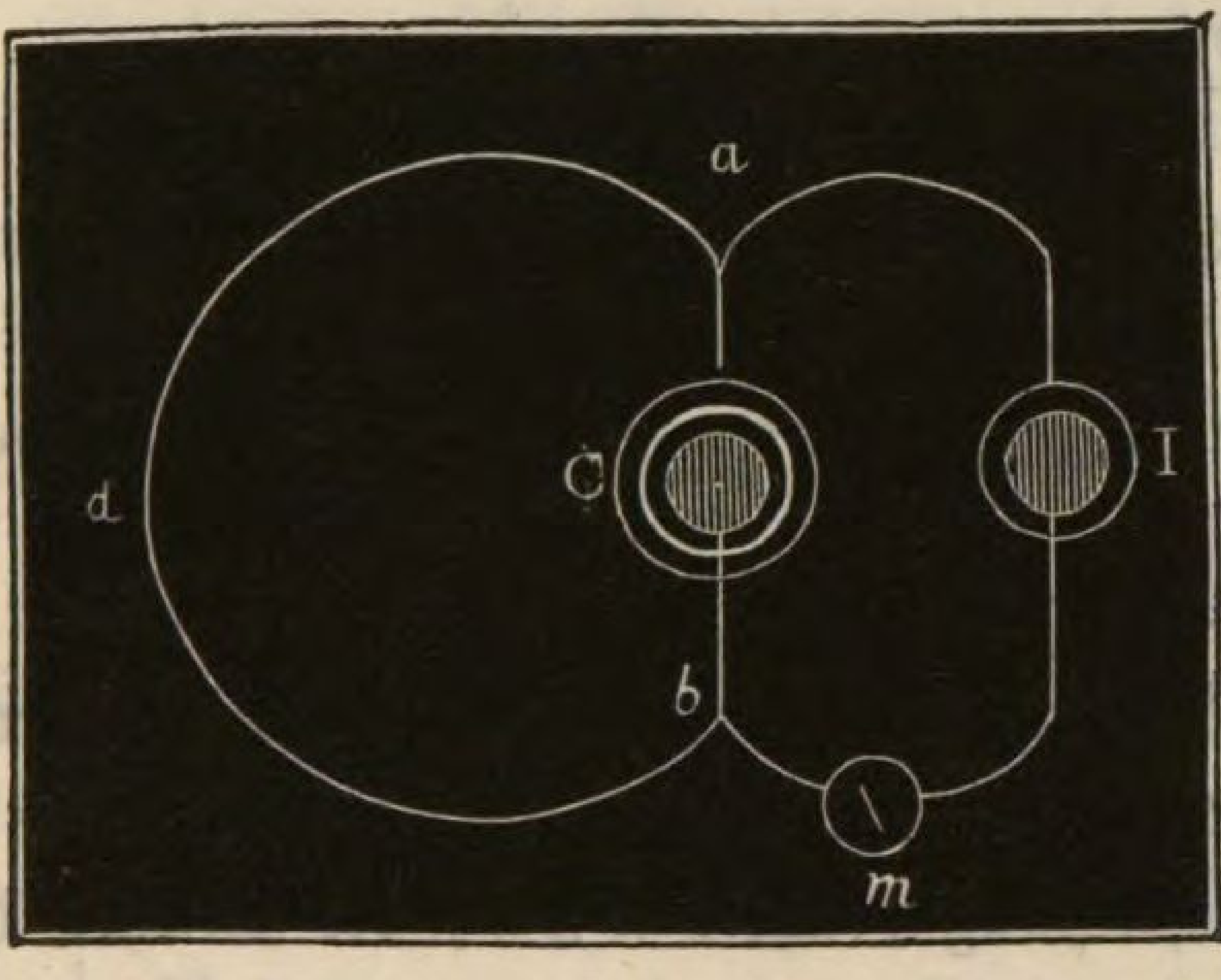
Diese galvanische Polarisation werden wir später noch ausführlicher betrachten; hier ist nur so weit die Rede davon, als nöthig ist, um den Gang der Poggendorff'schen Untersuchung auseinanderzusetzen.

Wenn also die nach der Ohm'schen Methode gefundenen Werthe für die elektromotorische Kraft nicht mit der Spannungsreihe harmoniren, so liegt, wie schon bemerkt wurde, der Grund davon lediglich in der Modification, welche die ursprüngliche elektromotorische Kraft durch die Polarisation erleidet. Poggendorff bestrebte sich, nur den Werth dieser ursprünglichen noch nicht durch Polarisation modificirten elektromotorischen Kraft zu bestimmen. Wir übergehen die früheren Bemühungen, durch welche dies Ziel nur unvollständig erreicht wurde, und wenden uns gleich zur Betrachtung einer Methode, welche Poggendorff im LIV. Bde. seiner Annalen Seite 161 publicirt hat.

Diese Methode unterscheidet sich wesentlich von allen anderen dadurch, daß bei ihr nicht der Strom einer Kette gemessen wird, sondern bloß die Tendenz zu demselben. — Um die Polarisation zu vermeiden, strebte Poggendorff dahin, den Strom der Kette gar nicht zur Wirksamkeit kommen zu lassen, sondern ihn von vornherein durch einen anderen zu compensiren, dessen elektromotorische Kraft constant und bekannt ist.

Die Auseinandersetzung und Begründung seiner Compensationsmethode ist bei Poggendorff etwas weitläufig, und eben deshalb auch nicht recht übersichtlich, ich bin deshalb in Folgendem von seiner Darstellungsweise abgewichen, da ich mir möglichste Verständlichkeit zur Hauptaufgabe bei Abfassung dieses Berichtes gemacht habe.

Fig. 99.



In Fig. 99 stelle C ein constantes Element, etwa ein Grove'sches und I ein anderes Volta'sches Element dar, dessen elektromotorische Kraft geringer ist als die von C. Die positiven Pole beider sind leitend verbunden, ebenso die negativen. In die Verbindung zweier gleichnamiger Pole ist ein Multiplicator m eingeschaltet; die Verbindung der beiden anderen Pole kann bei a beliebig unterbrochen und wieder hergestellt werden. Die Drahtleitung $a\,d\,b$ schließt die constante Kette C.

Nehmen wir an, das Element I sey dem C vollkommen gleich und die Verbindung bei a hergestellt, so stellt uns diese Combination nichts anders dar, als zwei Elemente, die so verbunden sind, daß sie ein einziges von doppelter Oberfläche darstellen; ist aber die elektromotorische Kraft von I schwächer als die von C, so sind die Stromwirkungen etwas complicirter.

Bezeichnen wir

mit l den Widerstand des Elementes C sammt den Drahtleitungen zwischen a und b,

mit l' den Widerstand des Elementes I sammt den Drahtleitungen zwischen a und b, also den Widerstand des Multiplicators m mit eingerechnet,

mit r den Widerstand der Drahtleitung $a\,d\,b$; bezeichnen wir ferner

mit E die elektromotorische Kraft von C,

mit E' die elektromotorische Kraft von I.

Der Strom des Elementes C theilt sich bei a und b in zwei Theile, von denen der eine durch die Drahtleitung über d, der andere durch I geht. Der Leitungswiderstand des einen Zweiges ist r, der des anderen ist l',

folglich ist der Widerstand beider neben einander befindlichen Zweige $\frac{l' r}{l' + r}$ und der ungetheilte Strom, welchen C liefert, ist

$$\frac{E}{l + \frac{l' r}{l' + r}} = \frac{E (l' + r)}{l (l' + r) + l' r}$$

wenn man von der elektromotorischen Kraft in I abstrahirt.

Derjenige Theil dieses Gesammtstromes, welcher durch I geht, ist

$$\frac{E r}{l (l' + r) + r \,.\, l'} \ldots\ldots 1)$$

Der Gesammtstrom, welchen I liefert und welcher sich nachher in die Zweige $a C b$ und $a d b$ spaltet, ist

$$\frac{E' (l + r)}{l' (l + r) + r l} \ldots\ldots 2)$$

Die beiden Ströme 1) und 2) gehen in entgegengesetzter Richtung durch den Multiplicator. Da nun die Nenner der beiden Stromwerthe bei 1) und 2) einander gleich sind, so wird offenbar der Multiplicator auf dem Nullpunkt stehen bleiben, wenn

$$E r = E' (l + r) \ldots\ldots 3)$$

Für bestimmte Werthe von E, E' und l wird es also stets einen Werth von r geben, für welchen der Gleichung 3) Genüge geleistet wird, d. h. es giebt eine bestimmte Länge des Schließungsdrahtes $a d b$, bei welcher der Multiplicator keinen Strom anzeigt, wenn man den von a kommenden Draht mit dem einen Pol von C in Berührung bringt.

Ist der Widerstand r zu groß, so wird der Multiplicator einen Strom zu Gunsten von C anzeigen, hingegen wird im Multiplicator der Strom von C überwiegen, wenn der Widerstand r zu klein ist.

Hat nun der Widerstand r im Drahte adb gerade eine solche Größe, daß der Multiplicator auf Null stehen bleibt, wenn man bei a schließt, daß also die Gleichung 3) erfüllt ist, so ergiebt sich aus dieser Gleichung

$$E' = E \frac{r}{l + r} \ldots\ldots 4)$$

man kann also den Werth von E', d. h. die elektromotorische Kraft von I berechnen, wenn man die elektromotorische Kraft von C, also E und den Werth der Widerstände l und r kennt.

Natürlich kann man die richtige Länge des Drahtes adb nicht gleich auf den ersten Wurf treffen; vielmehr wird in der Regel, wenn man bei a schließt, die Multiplicatornadel nach der einen oder andern Seite abweichen, je nachdem der Draht zu lang oder zu kurz ist. Durch ein Paar Proben, wobei man den Draht adb zweckmäßig verlängert oder verkürzt, findet man indeß leicht die Länge desselben, bei welcher entweder gar kein

oder doch nur ein höchst schwacher Strom im Galvanometer angedeutet wird.

Dies ist nun als eine erste Annäherung zum richtigen Verhältniß zwischen r und l zu betrachten. Man läßt nun die Kette I eine Zeit lang ungeschlossen, damit sich alle Polarisation verliere, oder noch besser, man nimmt die negative Platte aus der Flüssigkeit, reinigt sie und setzt sie dann wieder an ihre Stelle. Entsteht nun noch ein Ausschlag, wenn man bei a schließt, so regulirt man abermals die Länge des Drahtes adb, bis man das richtige Verhältniß hergestellt hat. Es ist nun der Strom, welchen die noch nicht durch Polarisation modificirte elektromotorische Kraft des Elementes I zu erzeugen strebt, compensirt, und man kann den Werth E' derselben nach Gleichung 4) berechnen.

Zunächst prüfte Poggendorff seine Methode dadurch, daß er nach ihr die elektromotorische Kraft von constanten Elementen bestimmte, die man auch auf andere Art ermitteln kann, und fand ganz übereinstimmende Resultate. Er fand nach der Ohm'schen Methode

die elektromotorische Kraft eines Grove'schen Elementes = 25,886,
» » » » Daniell'schen Elementes = 15,435.

Es wurde nun das Grove'sche Element an die Stelle von C, das Daniell'sche an die Stelle von I Fig. 99. gesetzt. l war 35,03. Das fragliche Gleichgewicht fand statt als $r = 52,68$; für diesen Fall ist also $\frac{l + r'}{r} = 1,668$, mithin ergiebt sich nach dieser Methode

$$E' = \frac{25,886}{1,668} = 15,51,$$

was mit dem nach der Ohm'schen Methode bestimmten Werthe von E' sehr gut übereinstimmt.

Poggendorff wandte nun diese Methode zur Ermittelung der ursprünglich elektromotorischen Kraft in constanten Ketten an. Die elektromotorische Kraft der zur Vergleichung zu Grunde gelegten Grove'schen Kette war nach der Ohm'schen Methode gleich 22,88 gefunden worden, und es ergab sich für die ursprünglich elektromotorische Kraft einer inconstanten Kette aus

Zink-Kupfer . . .	13,79
Zink-Eisen . . .	7,40
Eisen-Kupfer . .	6,00

Diese Resultate beweisen, daß die ursprünglichen elektromotorischen Kräfte diesen Combinationen in der That dem Gesetz der Spannungsreihe sehr nahe genügen, denn es ist die elektromotorische Kraft für Kupfer-Eisen + der elektromotorischen Kraft für Eisen-Zink nahe gleich der elektromoto-

rischen Kraft für Kupfer-Zink, denn es ist 7,4 + 6 = 13,4, also wirklich nahe gleich 13,79.

Wenn also der Strom der Zinkeisenkette stärker ist als der der Zinkkupferkette, wenn man nach der Ohm'schen Methode auch die elektromotorische Kraft der ersten Combination größer findet, als die der letzteren, so ist dies lediglich eine Folge, daß der Strom bei der Combination Zinkkupfer eine stärkere, der ursprünglichen elektromotorischen Kraft entgegenwirkende Polarisation erzeugt als bei der Zinkeisenkette.

114 **Vergleichung verschiedener Volta'scher Combinationen.** In den letzten Paragraphen haben wir gesehen, wie man die Constanten einer Volta'schen Combination ermitteln und in vergleichbaren Werthen ausdrücken kann. Alle Angaben über die Effecte einer Säule, wie man sie gewöhnlich angeführt findet, um die eine oder die andere Combination zu empfehlen, geben keine genügende Bestimmungen für die Leistungsfähigkeit der Apparate. Der Mangel an genauen numerischen Bestimmungen veranlaßt große Täuschungen in Beziehung auf die Vortheile und Nachtheile der verschiedenen galvanischen Combinationen. Finden wir solche Unbestimmtheiten und Täuschungen schon bei Männern der Wissenschaft, so darf es uns gar nicht wundern, in technischen Journalen Vorschläge zu finden, welche eine gänzliche Unkenntniß aller Principien beurkunden, um die es sich hier handelt.

Betrachten wir die wichtigsten galvanischen Combinationen etwas näher.

115 **Die einfache Zinkkupferkette.** Die Wollaston'sche Batterie ist eine zweckmäßige Form der einfachen Zinkkupferkette mit einer Flüssigkeit. Man findet sie in meinem Lehrbuch der Physik abgebildet und beschrieben.

Die Ketten von Young und Münch kann man als Variatäten der Wollaston'schen betrachten, und es dürfte deshalb eine weitere Beschreibung derselben unnöthig seyn.

Die einfache Zinkkupferkette gehört bekanntlich nicht zu den constanten Ketten, indem die elektromotorische Kraft durch die in Folge des Stromes auftretende Polarisation an der Kupferplatte sehr bedeutend modificirt wird. Poggendorff fand die noch nicht durch Polarisation modificirte elektromotorische Kraft der Zinkkupferkette in verdünnter Schwefelsäure gleich 13,8 (Seite 275), wenn die elektromotorische Kraft der Grove'schen Kette gleich 229, ist.

Nehmen wir nach chemischer Einheit die elektromotorische Kraft der Grove'schen Kette gleich 830 (vergleiche die Tabelle auf S. 256), so wäre nach dieser Einheit die unmodificirte elektromotorische Kraft der Zinkkupferkette gleich 500. Nach meinen Versuchen ist aber, wenn der Strom zur Entstehung gekommen ist, die elektromotorische Kraft der Zinkkupferkette nur gleich 208; durch die Polarisation wird also die elektromotorische

Kraft sehr bald auf $^2/_5$ ihres ursprünglichen Werthes herabgebracht, und dies ist nun auch die Ursache, daß gleich nach dem Eintauchen der Strom außerordentlich stark ist, aber dann sehr rasch abnimmt. Hat einmal die Polarisation ihr Maximum erreicht, so bleibt nun der Strom ziemlich constant, so wenigstens, daß man annähernd genaue Messungen machen kann. Die Zahlen, aus denen die auf S. 256 mitgetheilten Werthe der elektromotorischen Kraft und des Leitungswiderstandes der Wollaston'schen Kette berechnet wurden, sind nicht unmittelbar beobachtet, sondern das Mittel aus mehreren Ablesungen. Um einen richtigen Begriff von dem Verhalten dieser Kette zu geben, will ich die entsprechende Beobachtungsreihe ganz hersetzen:

Einschaltung.	Ablenkung.
0	26°
Kupferdraht . . .	12°
» . . .	11,5
0 . . .	24
Kupferdraht . . .	11
» . . .	11,25
0 . . .	23,5
Messingdraht . . .	5
0 . . .	24
Messingdraht . . .	5
0 . . .	22
» . . .	23
Kupferdraht . . .	11
0 . . .	23

Nach Schließung der Kette vergingen einige Minuten, bis die Nadel nach anfangs sehr lebhaften Oscillationen zur Ruhe gekommen war; selbst nachdem die Oscillationen aufgehört hatten, ging sie noch langsam zurück und erst bei 26° wurde sie ziemlich stationär. Es ist dies die erste Aufzeichnung. Nun wurde ein Kupferdraht eingeschaltet, dessen Widerstand durch frühere Versuche gleich dem von 7,2 Metern Normaldraht gefunden worden war. Die Nadel stellte sich bei 12° fest und ging nach einiger Zeit auf 11,5° zurück.

Der Kupferdraht wurde wieder aus dem Schließungsbogen herausgenommen, nun war die Ablenkung 24° u. s. w.

Der Messingdraht, welcher die Ablenkung auf 5° herabbrachte, hatte einen Leitungswiderstand gleich dem von 29,2 Metern Normaldraht.

Man sieht, daß der Strom dieses Elementes, wenn einmal die ersten Schwankungen vorüber sind, ziemlich constant bleibt, wenigstens so, daß man angenähert genaue Messungen zur Berechnung der elektromotorischen

Kraft und des Leitungswiderstandes machen kann. Freilich wird die elektromotorische Kraft durch den Strom sehr bedeutend geschwächt, dagegen ist auch der Leitungswiederstand selbst bei sehr schwacher Säure nicht bedeutend. Wo es also nicht darauf ankommt, genaue Messungen zu machen, und wo man nicht auf längere Zeit einen beständigen Strom nöthig hat, also zu vielen galvanischen Versuchen, lassen sich die Zinkkupferketten mit Vortheil anwenden; hat man Elemente mit großen Oberflächen nöthig, so ist dann die Form der Hare'schen Spirale vorzuziehen.

Die Stärke der Polarisation ist höchst wahrscheinlich von der Stromstärke abhängig, doch fehlen uns darüber bis jetzt noch genauere Untersuchungen.

Der Grund, warum die Ketten mit einer Flüssigkeit nicht constant sind, ist in der Polarisation der negativen Platte zu suchen, und diese wird in den sogenannten constanten Ketten möglichst vermieden. Dessen ungeachtet nimmt doch auch die Stromstärke der constanten Ketten allmälig ab, wenn man sie längere Zeit geschlossen läßt, weil die Flüssigkeit sich allmälig ändert, indem die verdünnte Schwefelsäure sich nach und nach in eine Lösung von Zinkvitriol verwandelt. Eine entsprechende Veränderung in der Natur der Flüssigkeit findet bei allen Ketten ohne Ausnahme statt, und sie ließe sich nur dadurch vermeiden, daß man die Flüssigkeit von Zeit zu Zeit erneuerte. — Durch eine Hebervorrichtung könnte man es wohl einrichten, daß die schwerere Zinkvitriollösung aus dem untern Theil des Gefäßes langsam abfließt, und oben in demselben Maaße frische Säure zufließt.

Ein Umstand, der bei allen Ketten ohne poröse Scheidewand ganz besonders nachtheilig wirkt, ist der, daß in Folge des Stroms das Zinksalz die Lösung zersetzt und Zink metallisch auf der negativen Platte abgelagert wird, wodurch dann freilich bei längerer Schließung der Kette die elektromotorische Kraft der Kette mehr und mehr abnehmen muß.

Die Beständigkeit der Stromstärke einer Kette hängt wesentlich von der Größe dieser Stromstärke ab. Schwache Ströme, wie man sie erhält, wenn man stark verdünnte Säure anwendet, und große Leitungswiderstände in den Schließungsbogen einschaltet, bleiben leicht längere Zeit constant, während bei Anwendung stärkerer Säure und geringer Leitungswiderstände die Stromstärke nothwendig weit rascher abnehmen muß. Will man daher verschiedene Ketten in Beziehung auf ihre Beständigkeit vergleichen, so muß man gleiche Widerstände und gleiche Säure anwenden; die Nichtberücksichtigung dieses Umstandes mag wohl schon zu mannigfachen Täuschungen über die Beständigkeit einzelner Ketten Veranlassung gegeben haben.

So führt man Ketten als sehr constant an, welche aus Zink und Kup=

ferplatten bestehen, die in den feuchten Erdboden eingegraben sind. Solche Ketten können natürlich nur sehr schwache Ströme geben, weil der Leitungswiderstand zwischen den Platten sehr groß ist, es ist also wohl begreiflich, daß der Strom dieser Ketten länger constant bleibt, als wenn man die Platte in Säure eintaucht.

Fürst Bagrotion stellte Platten in Gefäße, die mit Sand gefüllt sind, welcher mit einer Salmiaklösung mäßig befeuchtet wird. Garnier wendet solche Ketten mit Erfolg an, um elektromotorische Uhren damit im Gang zu halten (Dingler's pol. Journ. 110. Bd. S. 177.); hier reicht nämlich eine sehr geringe Stromstärke hin, um den kleinen Elektromagneten einen hinlänglichen starken Magnetismus zu ertheilen.

Garnier's Apparat hatte folgende Einrichtung. Der Sand befand sich in einem Fäßchen; Zink und Kupfer hatten die Form von Cylindern, das Kupfer bildet den äußeren, das Zink den inneren. Die Oberfläche des Kupfers war 1,5, die des Zinks 1,3 Quadratdecimeter. Ein solches Element hielt den Apparat 2½ Monat lang in Gang. Wendet man eine Batterie aus mehreren solchen Elementen an, so läßt sich die Einrichtung treffen, daß man ohne den Strom zu unterbrechen ein einzelnes Plattenpaar herausnehmen und erneuern kann.

Koppinsky (Dingler's Journal, 101 Band, pag. 222; technologiste, März 1846, Seite 241) fand die Erwartungen, die er sich von diesen Ketten gemacht hatte, nicht erfüllt. Wahrscheinlich hat er starke Ströme mit denselben hervorbringen wollen. Auch belästigten ihn die Salmiakdämpfe. Die ungünstigen Resultate sind nach seiner Ansicht der Isolirung zuzuschreiben, weil sich die Batterie nicht mit Elektricität aus dem Boden speisen kann und weil sie nicht vor dem Einfluß der Luft geschützt wird, welche also die durch die Berührung der Metalle erzeugte Elektricität neutralisiren kann.

Ich führe dies als ein Beispiel an, welchen abenteuerlichen Vorstellungen über den galvanischen Strom und die galvanische Kette man in technischen Zeitschriften noch begegnet. Die Redactionen technischer Zeitschriften sollten in der That in solchen Fällen kritischer seyn und solche Behauptungen, welche nur geeignet sind, Leute zu verwirren, die keine gründlichen physikalischen Kenntnisse haben, entweder gar nicht passiren zu lassen oder doch mit den nöthigen Erläuterungen zu begleiten.

Nachdem alle übrigen Ketten keine Gnade bei ihm gefunden haben, schlägt endlich Koppinsky vor, für galvanoplastische Arbeiten Zinkkupferelemente anzuwenden, deren Platten 1 Quadratmeter Oberfläche haben und die 2 bis 3 Millimeter weit von einander entfernt in verdünnter Schwefelsäure eingetaucht sind. — Es ist dies eine der ältesten Formen, die man großplattigen Elementen gegeben hat, und die später sehr zweck-

mäßig von Hare in die Form einer Spirale umgewandelt wurde; von dieser Seite enthält also Koppinsky's Vorschlag durchaus nichts neues. Neu, aber auch zwecklos, ist dagegen die Vorschrift, die Säure in Gefäßen von nicht harzigem Holze zu gießen und auf feuchten Boden zu setzen.

Wie schwach der Strom ist, welchen in den feuchten Boden eingegrabene Metallplatten liefern, geht aus den Versuchen von Weekes hervor (Dingler's Journal, 97. Band, Seite 194), welcher mit einer Zink- und einer Eisenplatte, deren jede 54 Quadratdecimeter Oberfläche hatten und die in nicht sehr feuchtem Boden eingegraben waren, einen Strom erhielt, welcher die astatische Nadel eines Multiplicators um 87° ablenkte, welche Ablenkung jedoch bald auf 61° fiel. Der Strom war also außerordentlich schwach.

Eine Säule von 36 Paaren dieser Art gab zwischen Kohlenspitzen ein Licht, welches stark genug war, um in ½ Meter Entfernung noch feinen Druck lesen zu können. Vergleicht man diesen höchst unbedeutenden Effect mit der glänzenden Lichterscheinung, welche 36 Zinkkohlen- oder Zinkplatinelemente hervorzubringen im Stande sind, so begreift man in der That kaum, wie Herr Weekes die Hoffnung hegen mag, solche Ketten könnten ein vortheilhaftes Beleuchtungsmittel geben.

Freilich waren die Platten des Herrn Weekes in ziemlich trockenen Boden eingesetzt; bei feuchterem Boden werden sie allerdings einen stärkeren Strom lieferen, doch nie so stark, als ob man die Platten direct in Wasser eingetaucht hätte. Befeuchtet man den Sand mit einer Salmiaklösung, so wird die Stromstärke sich doch nie derjenigen nähern können, welche dieselben Platten, in Salmiaklösung getaucht, zu liefern im Stande sind. Solche eingegrabene Platten können also höchstens in solchen Fällen angewendet werden, wo man nur sehr schwacher Ströme bedarf. Solche schwache Ströme kann man aber auch mit andern Ketten auf längere Zeit ziemlich constant erhalten, wenn man nur sehr verdünnte Säuren anwendet. Jedenfalls haben die eingegrabenen Platten den Nachtheil, daß sie nicht so zugänglich sind, wie die Platten anderer Batterien.

116 **Smee'sche Kette.** Die Smee'sche Kette wurde von vielen Seiten sehr gerühmt; sie sollte sehr starke Ströme liefern und auch bedeutend mehr constant seyn als andere Ketten mit einer Flüssigkeit. Messungen wurden zur Unterstützung dieser Meinung nicht angestellt; ich habe sie nicht bestätigt gefunden.

Das Kupfer der Wollaston'schen Batterie ist bei der Smee'schen Kette durch Platin oder Silber ersetzt, welches mit Platinmoor überzogen ist. Diesen Ueberzug von Platinmoor erhält man, wenn man die wohl gereinigte Metallplatte von Platinkaliumchlorür eintaucht und mit dem negativen Pole einer nicht gar starken Säule in Verbindung bringt, deren

positiver Pol gleichfalls in die Lösung eingetaucht ist. Das Platin setzt sich auf der negativen Polplatte ab. — Wenn die positive Polplatte selbst von Platin ist, so wird sie durch das Chlor angegriffen und die Lösung behält ihren Sättigungsgrad.

Den beiden Flächen der platinirten Platte der Smee'schen Batterie stehen in einer Entfernung von ungefähr 1 Linie Zinkplatten gegenüber. Die Breite der Zinkplatten soll nur ⅓ von der Breite der platinirten Platte seyn; was dies für einen Vortheil haben soll, kann ich nicht einsehen; bei dem Smee'schen Element, mit welchem ich Versuche angestellt habe, ist es nicht der Fall; in demselben war die negative Platte eine platinirte Silberplatte.

Ich fand dieses Element ungleich weniger constant als ein Wollaston'sches, die Schwankungen der Nadel waren viel bedeutender. Bei gleicher Flüssigkeit gab das Smee'sche Element in einer Versuchsreihe, welche gerade ebenso angestellt wurde wie die auf Seite 277 beschriebene Versuchsreihe, folgende Resultate:

Einschaltung	Ablenkung
0	30° geht rasch zurück auf
—	28
Kupferdraht	12,5
0	28,5
	nach einigen Schwankungen
0	25
Kupferdraht	12
0	25
Abgespült.	
0	28,5
0	26
	nach vielen Schwankungen
0	25
Messingdraht	5,5
—	5
0	29
0	26
0	24.

Nehmen wir im Mittel für die Einschaltung 0, die Ablenkung 26°; bei Einschaltung des Kupferdrahtes 12,25; des Messingdrahtes 5,5, so ergiebt sich die elektromotorische Kraft des Smee'schen Elementes gleich **212**, also kaum merklich größer als die des Wollaston'schen, welche, wie wir oben Seite 257 gesehen haben, 208 ist. Bei gleicher Oberfläche sind die Widerstände beider Elemente ebenfalls ziemlich gleich; nach die-

sen Versuchen scheint es nicht, als ob das Smee'sche Element irgend einen Vorzug vor dem Wollaston'schen verdiene. Ob platinirtes Platin bessere Resultate liefert als platinirtes Silber, ist noch zu ermitteln.

117 **Die Zinkkupferkette mit zwei Flüssigkeiten.** Wenn das Kupfer der Zinkkupferkette in einer concentrirten Lösung von Kupfervitriol, das Zink in verdünnter Schwefelsäure steht, während beide Flüssigkeiten durch eine poröse Scheidewand getrennt sind, so ist die nachtheilige Wirkung der Polarisation größtentheils aufgehoben; die elektromotorische Kraft wird größer als bei der gewöhnlichen Zinkkupferkette, die Stromstärke wird constant.

Die elektromotorische Kraft der Daniell'schen Kette ist (S. 257):

$$E = 470.$$

Nach Svanberg's Versuchen (P. A. LXXIII. 290.) ändert sich die elektromotorische Kraft der Daniell'schen Kette nur wenig mit der Natur der Flüssigkeit. Während das Kupfer in einer concentrirten Lösung von Kupfervitriol stehen blieb, ergaben sich für verschiedene Flüssigkeiten, in welche das Zink eingetaucht wurde, folgende Werthe für die elektromotorische Kraft des Elementes (in willkürlicher Einheit ausgedrückt).

Für concentrirte Lösung von Zinkvitriol . .	15,6
dieselbe stark verdünnt	15,9
» concentrirte Lösung von Kupfervitriol . .	16,6
dieselbe stark verdünnt	16,2
» ganz schwach gesäuertes Wasser	16,0
» stärker gesäuertes Wasser	16,7.

Für ein Quadratdecimeter mittlerer Metallfläche ist (Seite 259) der Widerstand des Elements

$R = 78$ (Säure = 1 Thl. Schwefelsäure + 10 Thl. Wasser).

Durch Anwendung einer Säure, welche 1 Theil Schwefelsäure auf 5 Theile Wasser enthält, würde man den Widerstand für die Flächeneinheit auf $R = 30$ herabbringen können. Diese Widerstände beziehen sich auf die irdenen Zellen; für Stöhrer'sche Zellen würden sich die Widerstände ungefähr auf $\frac{1}{3}$ verringern, also seyn

$R = 26$ (1 Schwefelsäure auf 10 Wasser)

$R = 10$ (1 Schwefelsäure auf 5 Wasser)

Die Daniell'sche Kette ist wohl unter allen die constanteste, was zum Theil daher rühren mag, daß die Säure weniger schnell abgenutzt wird, indem die durch Zersetzung des Kupfervitriols frei werdende Säure wenigstens theilweise durch die poröse Zelle zur Flüssigkeit übergeht, in welcher das Zink steht.

Ryhiner (Dingler's Journal, 110 Bd. Seite 418) schlägt vor,

das Zink durch Eisen zu ersetzen, welches in einer Kochsalzlösung steht. Was diese Combination für Vortheile gewähren soll, läßt sich nicht recht einsehen. Jedenfalls ist die elektromotorische Kraft derselben geringer als die einer gewöhnlichen Daniell'schen Kette.

Ryhiner sagt von seiner Kette: Sie übt zwar auf die Magnetnadel keine starke Wirkung aus, besitzt aber dessen ungeachtet eine größere reducirende Kraft auf Metalllösungen als die gewöhnliche Zinkbatterie!?

Herr Ryhiner scheint also nicht zu wissen, daß die chemischen Wirkungen des Stromes den magnetischen stets propotional sind.

Uebrigens macht Ryhiner einen Vorschlag, die Thonzellen durch Leinwandzellen zu ersetzen, welcher wohl ganz praktisch seyn kann. Hinsichtlich der Thonzellen befindet man sich in der That oft in Verlegenheit. Solche, die man vom Hafner machen läßt, sind schlecht; gute kann man nicht überall bekommen; was um so störender ist, da die besser leitenden Zellen sehr zerbrechlich sind. Ryhiner's Zellen werden in folgender Weise angefertigt:

Von dichtem leinenen etwas dickem croisirten Zeuge macht man Säcke ohne Boden, welche über eine Blechrolle gespannt werden; darauf wird mit Mehlkleister 3 bis 4fach starkes Papier, und darauf ein Stück Zitz oder dünne Leinwand geklebt. Der Boden wird durch einen platten Holzcylinder gebildet, in dessen Cylinderfläche eine Rinne eingedreht ist, so daß man den auf die angegebene Weise behandelten Leinwandcylinder mit Bindfaden festbinden kann. Die Blechrolle wird nun wieder hineingestellt und mit heißem Sande erwärmt. Wenn alles gehörig trocken ist, gießt man geschmolzenes Wachs oder Colofonium ein, um die Fugen am Boden gehörig zu schließen. Der obere Rand wird mit Bernsteinfirniß getränkt.

Ob diese Zellen wirklich empfehlenswerth sind, kann ich aus eigener Erfahrung nicht beurtheilen.

Die Grove'sche Kette. Nach meinen Messungen, welche auf 118
Seite 256 mitgetheilt wurden, die aber gerade für die Grove'sche Kette keinen großen Anspruch auf Genauigkeit machen, ist die elektromotorische Kraft der Grove'schen Kette nach chemischem Maaß

829.

Andere Beobachter haben die elektromotorische Kraft der Grove'schen Säule nicht nach irgend einem absoluten Maaße bestimmt, sondern nur mit der elektromotorischen Kraft der Daniell'schen Kette verglichen. Setzt man die elektromotorische Kraft der Daniell'schen Kette gleich 1, so ist die der Grove'schen:

Nach Jakobi	. . . .	1,666
» Buff	. . . .	1,712
» Poggendorff.	.	1,668
» id.	. .	1,565
Mittel	. .	1,653.

Nehmen wir nach meinen Messungen die elektromotorische Kraft der Daniell'schen Kette nach chemischem Maaß gleich 470, so wäre also nach derselben Einheit die elektromotorische Kraft der Grove'schen Kette im Mittel

$$470 \,.\, 1{,}653 = 777,$$

während ich den Werth für die elektromotorische Kraft dieser Kette etwas höher, nämlich gleich 829, also ungefähr $6\frac{1}{2}$ Procent größer gefunden habe.

Einen Vergleich des Leitungswiderstandes der Grove'schen Kette mit dem der Daniell'schen findet sich bei den oben genannten Beobachtern nicht. — Eine solche Vergleichung kann sich übrigens auch nur auf ein bestimmtes Exemplar beziehen, da sie mit der Natur der Thonzellen sich ändert, und von dem Concentrationsgrad der Flüssigkeit abhängt.

Eine Vergleichung der Widerstände beider Ketten hat nur dann einen Sinn, wenn man für beide Thonzellen von derselben Masse und gleiche Flüssigkeit für die Zinkzelle anwendet, während die Kupferzelle der Daniell'schen Kette concentrirte Kupfervitriollösung enthält und die Platinplatte der Grove'schen in starker Salpetersäure steht. Eine solche Vergleichung habe ich für die Grove'sche Kette nicht gemacht, wohl aber für die Zinkkohlenkette, deren Widerstand man unter sonst gleichen Umständen wohl dem der Grove'schen gleichsetzen kann. Wir werden also bei der Zinkkohlenkette auf die Widerstandsvergleichung zurückkommen.

Es ist der Vorschlag gemacht worden, die Salpetersäure durch andere sehr stark sauerstoffhaltige Körper, namentlich durch eine Lösung von saurem chromsauren Kali zu ersetzen. Für diese Flüssigkeit fand Poggendorff die elektromotorische Kraft der Grove'schen Kette gleich

$$0{,}987,$$

wenn man die der Daniell'schen Kette gleich 1 setzt, also bedeutend geringer als für Salpetersäure. Saures chromsaures Kali ist also für die Grove'sche Kette nicht zu empfehlen. —

Im 106ten Bande von Dingler's polytechnischem Journal, Seite 154, wird mitgetheilt, daß an Grove'schen Ketten, die man bei elektrischen Telegraphen anwandte, der Uebelstand oft störend auftritt, daß die Salpetersäure durch die Thonzellen hindurchsickert, und das Zink so

stark angreift, daß man es täglich frisch amalgamiren muß. Krystalle von Glaubersalz in die verdünnte Schwefelsäure geworfen, sollen diesem Uebelstande abhelfen. Der Erfolg dieses Mittels sey höchst wahrscheinlich dadurch zu erklären, daß Glaubersalz zersetzt und salpetersaures Natron gebildet werde, wodurch aber die freie Salpetersäure wieder verschwindet.

119 **Die Bunsen'sche Kette.** Als Mittel aus allen meinen oben Seite 256 mitgetheilten Versuchen ergiebt sich für die elektromotorische Kraft der Zinkkohlenkette nach chemischem Maaße der Werth

824.

Die elektromotorische Kraft der Daniell'schen Kette gleich 1 gesetzt, ist die elektromotorische Kraft der Zinkkohlenkette:

nach Buff. 1,712,
nach Poggendorff. . 1,548.

In chemischem Maaße ausgedrückt, wäre also die elektromotorische Kraft der Zinkkohlenkette:

nach Buff 805,

was mit meinem Mittel sehr nahe übereinstimmt,

nach Poggendorff . . 727,

welche Zahl wohl doch zu klein seyn dürfte. Jedenfalls ist die elektromotorische Kraft der Bunsen'schen und der Grove'schen Kette so nahe gleich, daß man bei praktischen Anwendungen von dem etwaigen Unterschied absehen darf.

Nach Poggendorff bleibt die elektromotorische Kraft der Zinkkohlenkette fast dieselbe, wenn man die Salpetersäure durch eine Lösung von saurem chromsaurem Kali ersetzt, ja für letztere Flüssigkeit ist sie sogar noch etwas größer und zwar im Verhältniß von 1,589 zu 1,548.

Nach den auf Seite 259 gemachten Mittheilungen verhält sich bei gleicher mittlerer Oberfläche, gleichen Thonzellen und gleich stark verdünnter Schwefelsäure der Leitungswiderstand der Zinkkohlenkette zu dem der Daniell'schen wie

43 zu 78,

oder wie

1 zu 1,8.

Stöhrer in Leipzig hat in neuerer Zeit die Zinkkohlenkette bedeutend verbessert und im Gebrauch bequemer gemacht. Seine Kohlencylinder sind statt in Zuckerwasser in Steinkohlentheer getränkt und dann nochmals geglüht. Sie sind viel fester und haben eine ungleich glättere Oberfläche als die früheren, was den großen Vortheil hat, daß sie nicht so außerordentlich viel Salpetersäure einschlucken, wodurch die Anwendung der Zinkkohlenketten besonders unangenehm und kostspielig wurde.

Bei den früheren Zinkkohlenketten war der Kupfer- oder Zinkring,

welcher den oberen Rand des Kohlencylinders umfaßte, meist abnehmbar. Stöhrer hat ihn ein= für allemal befestigt. Um den Rand des Kohlencylinders wird zunächst ein Streifen von Messingdrahtgewebe gelegt und auf dieses dann der Kupferring möglichst fest aufgeschraubt. Der ganze obere Theil wird alsdann mit Siegellacklösung überstrichen. An dem Kupferring befindet sich ein ungefähr 1 Zoll langes Drahtstück, welches zur Herstellung der Verbindung mit dem nächsten Zinkcylinder geht. An den Zinkcylinder ist eine Art Drahtseil befestigt, welches mit Gutta=Percha überzogen ist und mit einer Schraubklemme endigt, welche an den Kupferdraht des folgenden Kohlencylinders angeschraubt werden kann.

120 **Zinkeisenketten.** Von vielen Seiten ist vorgeschlagen worden, das Eisen anstatt des Platins oder Kupfers zur Construction galvanischer Ketten anzuwenden. Roberts construirte eine Zinkeisenkette in folgender Weise. Ein gußeisernes Gefäß von 10 Zoll Höhe und 3,9 Zoll Durchmesser diente zur Aufnahme einer Mischung von 1 Theil concentrirter Schwefelsäure und 3 Theilen starker Salpetersäure; in diese Flüssigkeit wurde dann eine mit verdünnter Schwefelsäure gefüllte Thonzelle gestellt, die zur Aufnahme des 9,9 Zoll hohen und 3,3 Zoll weiten Zinkcylinders diente.

Fünf solcher Elemente lieferten in einer Minute in einem in den Schließungsbogen eingeschalteten Voltameter 40 Kubikzoll Knallgas. Allerdings ist dies eine sehr bedeutende Wirkung. (Dingler's Journal, 84ster Band, Seite 386.)

Im 84sten Bande von Dingler's Journal, Seite 385, beschreibt Schönbein eine Zinkeisensäule, welche ebenfalls sehr bedeutende Wirkungen hervorbrachte.

Zum Sprengen von Felsen schlägt Roberts eine Zinkeisenkette mit einer Flüssigkeit vor. (Dingler's Journal, 87ster Band, Seite 104; Mechanic Magazine, 1842.) 20 Eisenplatten und 20 Zinkplatten, jede von 7 Quadratzoll Oberfläche, sind, in gehöriger Weise verbunden, auf einem Gestell von Latten angebracht, welches man in einen Trog senken kann, welcher eine Mischung von 1 Theil Schwefelsäure auf 10 Theile Wasser enthält.

Callan construirte eine Zinkeisenkette (Dingler's Journal, 109ter Band, Seite 432. Phil. Mag., Juli 1848, Seite 49.) von ähnlicher Form, wie die war, welche Grove ursprünglich seiner Zinkplatinkette gegeben hatte; also mit rectangulären, glatten Thonzellen. Die Zellen waren $4^1/_2$ Zoll lang und $4^1/_2$ Zoll hoch.

Durch den Schlag einer aus 620 solchen Elementen zusammengesetzten Säule wurde ein Truthahn augenblicklich getödtet. — Sein Kropf war geborsten.

Callan sagt, diese Batterie wirke 15mal stärker als eine gleich große Wollaston'sche und $1^1/_2$mal so stark als eine gleich große Grove'sche. Diese Schätzung scheint höchst oberflächlich zu seyn; es sind durchaus keine Thatsachen, keine Messungen angegeben, aus denen man auch nur annähernd die Constanten dieser Ketten berechnen könnte, ohne deren Kenntniß eine richtige Würdigung einer galvanischen Combination nicht möglich ist.

Maaßbestimmungen für die Zinkeisenkette finden sich im 81sten Bande von Dingler's Journal, Seite 273.

Poggendorff fand für die elektromotorische Kraft verschiedener Combinationen folgende Werthe:

Zink-Platin . . .	100
Zink-Eisen . . .	78,6
Zink-Stahl . . .	87,0
Zink-Gußeisen . .	89,6,

wenn Zink in verdünnter Schwefelsäure, Platin, Eisen u. s. w. in concentrirter Salpetersäure steht. Die Leitungswiderstände sind bei allen diesen Combinationen ziemlich gleich.

Die Eisen-Eisenketten. Daß man das Platin der Grove'schen 121
Ketten mit Erfolg durch Eisen ersetzen kann, hängt ohne Zweifel damit zusammen, daß Eisen, in concentrirte Salpetersäure getaucht, passiv wird und sich in diesem Zustande wie ein sehr elektronegatives Metall verhält. — Wöhler und Weber kamen dadurch auf den Gedanken, daß sich Eisen, welches in concentrirter Salpetersäure steht, zu Eisen, welches in verdünnter Schwefelsäure getaucht ist, ähnlich verhält wie Platin zum Zink. Der Erfolg bestätigte diese Erwartung vollständig; sie construirten auf diese Weise eine sehr kräftige Säule.

Es ergab sich als sehr vortheilhaft, für das in verdünnte Schwefelsäure eingetauchte Eisen gewöhnliches Weißblech zu nehmen.

Auch Schönbein wurde durch seine Untersuchungen über Passivität des Eisens auf die Construction einer Kette aus passivem und activem Eisen geleitet. (Dingler's Journal, 84ster Band, Seite 385.)

Die zweckmäßigste Form der Eisensäule ist wohl folgende. Ein gußeisernes Gefäß nimmt die Salpetersäure und die Thonzelle auf, in welcher sich dann die verdünnte Schwefelsäure mit dem activen Eisen befindet.

Der Anwendung der Eisensäule steht das starke Rosten desjenigen Theils der Eisengefäße, welcher aus der Flüssigkeit vorragt, hindernd entgegen.

Callan's Zinkbleikette. Im Philosop. Magaz. für 1847 (Ser. 122
III. Vol XXXI. pag. 81.) beschreibt Callan eine neue Volta'sche Combination, von welcher Poggendorff im LXXII. Bande seiner Annalen, pag. 495, Bericht erstattet. Das Platin der Grove'schen Kette ist hier

durch platinirtes Blei ersetzt; dieses steht in einem Gemisch von 4 Theilen concentrirter Schwefelsäure, 2 Theilen Salpetersäure und 2 Theilen gesättigter Salpeterlösung. Das Zink steht in verdünnter Schwefelsäure, welche natürlich durch eine Thonzelle von der andern Flüssigkeit getrennt ist.

Die Wirkung dieser Kette soll nach Callan's Angaben der einer Grove'schen nicht nachstehen.

Poggendorff fand in der That die elektromotorische Kraft dieser Combination gleich der der Grove'schen Kette; auch zeigte der Strom der Zinkbleikette mehrere Stunden lang dieselbe Beständigkeit, wie der Strom der Zinkplatinkette; dagegen ergab sich kein Vortheil von dem Zusatz der Salpeterlösung zur Salpetersäure; der Zusatz der concentrirten Schwefelsäure aber hat außer dem Vortheil, das Blei vor dem Angriff der Salpetersäure zu schützen (was der Platinüberzug als lockeres Pulver nicht vermag), noch den sehr schätzbaren, daß er die Anwendung einer verdünnten Salpetersäure gestattet.

Streng genommen ist diese Kette ebenfalls eine Zinkplatinkette, indem das Blei eigentlich nur der Träger der dünnen Platinschicht ist, so daß Zink und Platin die Endglieder des in die Flüssigkeit eingetauchten Metallbogens sind.

123 **Zweckmäßigste Combination einer gegebenen Anzahl Volta'scher Elemente, um bei gegebenem Schließungsbogen die größte Wirkung zu erhalten.** Theoretisch ist der in der Ueberschrift bezeichnete Gegenstand zwar schon lange erledigt, die Beweise sind aber meist nur mit Hülfe höherer Rechnung geführt, und die ganze Form der Darstellung so gehalten, daß die praktische Anwendung des Satzes immer mehr angedeutet als durchgeführt ist; eine etwas ausführlichere Besprechung dürfte deshalb wohl am Platze seyn.

Gewöhnlich wird die Frage so aufgestellt: Wie hat man über eine gegebene Metalloberfläche, die zur Construction Volta'scher Elemente benutzt werden soll, zu disponiren (d. h. wie viel Elemente und wie groß soll man sie machen), damit bei gegebenem Schließungsbogen ein Maximum von Wirkung erhalten wird?

Diese Form der Frage entspricht nicht ganz den in der Praxis vorkommenden Fällen. Man ist meistens nicht in dem Falle, die Volta'sche Batterie für einen bestimmten Schließungsbogen zu construiren, sondern es handelt sich darum, wie man eine disponible Anzahl von galvanischen Elementen combinire, um ein Maximum des Effectes zu erhalten?

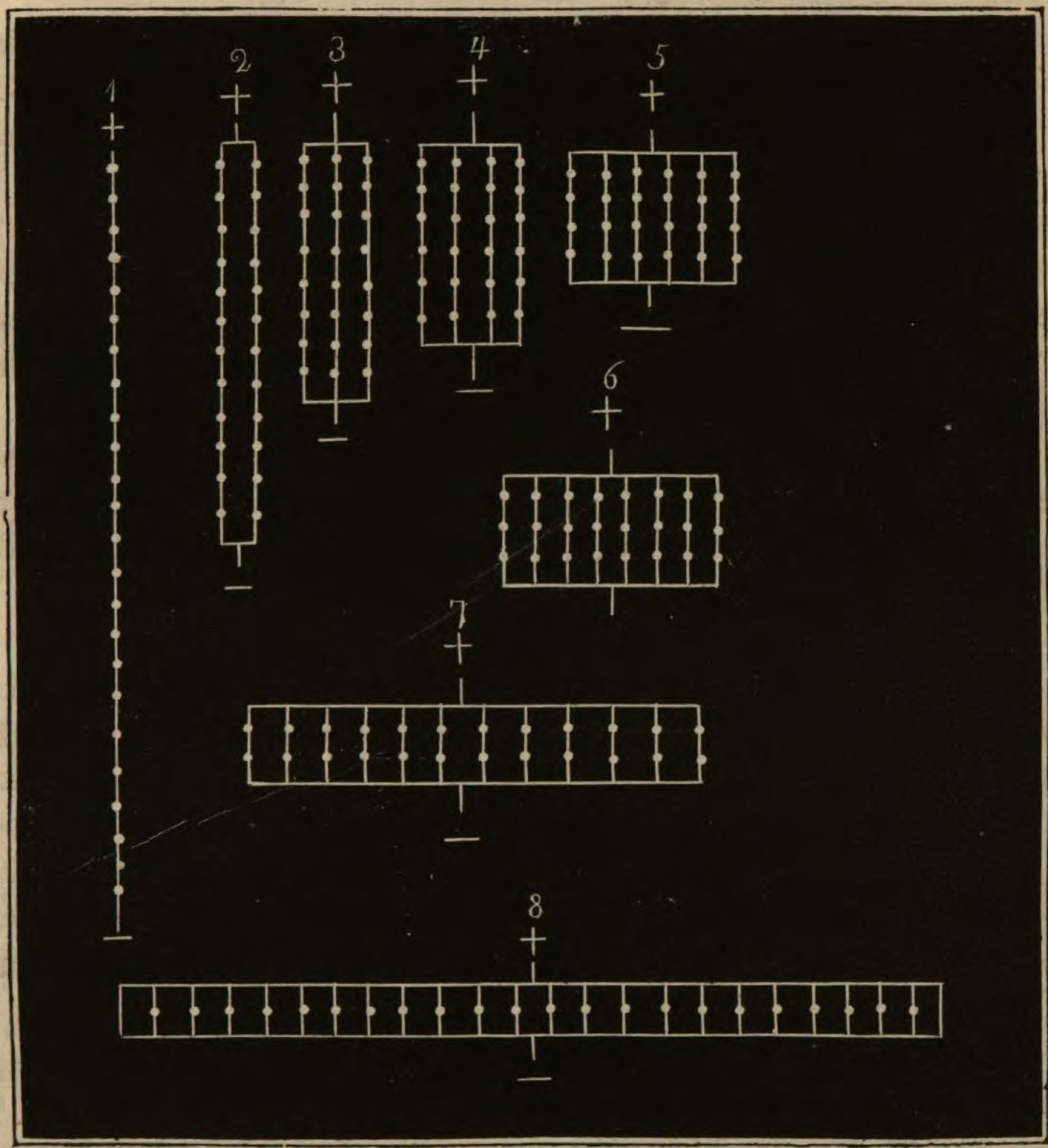
Ein Maximum der Stromstärke erhält man von einer gegebenen Anzahl von Elementen, wenn man sie so ordnet,

daß der Widerstand in der Kette dem Widerstande im Schließungsbogen gleich ist.

Ich will den Satz zuerst erläutern, dann beweisen.

Eine gegebene Anzahl von Elementen läßt sich auf die mannigfachste Weise combiniren. Z. B. 24 Elemente kann man, wie dies in Fig. 100 anschaulich gemacht wird, auf 8 verschiedene Arten ordnen:

Fig. 100.



1) Zu einer Säule von 24 einzelnen Elementen,
2) » » » » 12 doppelten »
3) » » » » 8 dreifachen »
4) » » » » 6 vierfachen »
5) » » » » 4 sechsfachen »
6) » » » » 3 achtfachen »
7) » » » » 2 zwölffachen »
8) » » » » 1 vierundzwanzigfachen Elemente.

Welche von diesen Combinationen in einen bestimmten Fall zu wählen sey, hängt vom Leitungswiderstande des Schließungsbogens ab. Man hat diejenige Combination zu nehmen, deren Widerstand dem des gegebenen Schließungsbogens am nächsten steht. Bezeichnen wir mit 1 den Widerstand eines Elementes, so ist der Widerstand

für die 1. Combination	24,
» » 2. »	6,
» » 3. »	2,666,
» » 4. »	1,5,
» » 5. »	0,666,
» » 6. »	0,375,
» » 7. »	0,166,
» » 8. »	0,0416.

Ist der Widerstand des gegebenen Schließungsbogens kleiner als 0,1 von dem Widerstande eines Elementes, so hat man die letzte Combination zu wählen, die erste aber, wenn der Leitungswiderstand des Schließungsbogens größer ist als der von 15 Elementen. Liegt der zu überwindende Widerstand zwischen 15 und 4,3 — zwischen 4,3 und 2 — zwischen 2 und 1,08 u. s. w., so hat man die 2te, 3te, 4te u. s. w. Combination zu wählen.

Der eben erläuterte Satz muß nun noch bewiesen werden.

Betrachten wir die verschiedenen Combinationen von 24 Elementen, wie sie in Fig. 101 dargestellt sind, so übersieht man leicht, daß, wenn man die Säule verkürzt, sie in demselben Verhältniß breiter wird, d. h. wenn man weniger Elemente hinter einander setzt, so kann man bei Anwendung der gleichen Elementenzahl in demselben Verhältniß mehr Elemente neben einander setzen.

Gehen wir von der zweiten Combination aus. Wir haben hier 12 Doppelelemente. Reduciren wir die Länge der Säule auf die Hälfte, also auf 6, so können wir die Breite jedes Elementes verdoppeln, wir haben jetzt 6 vierfache Elemente.

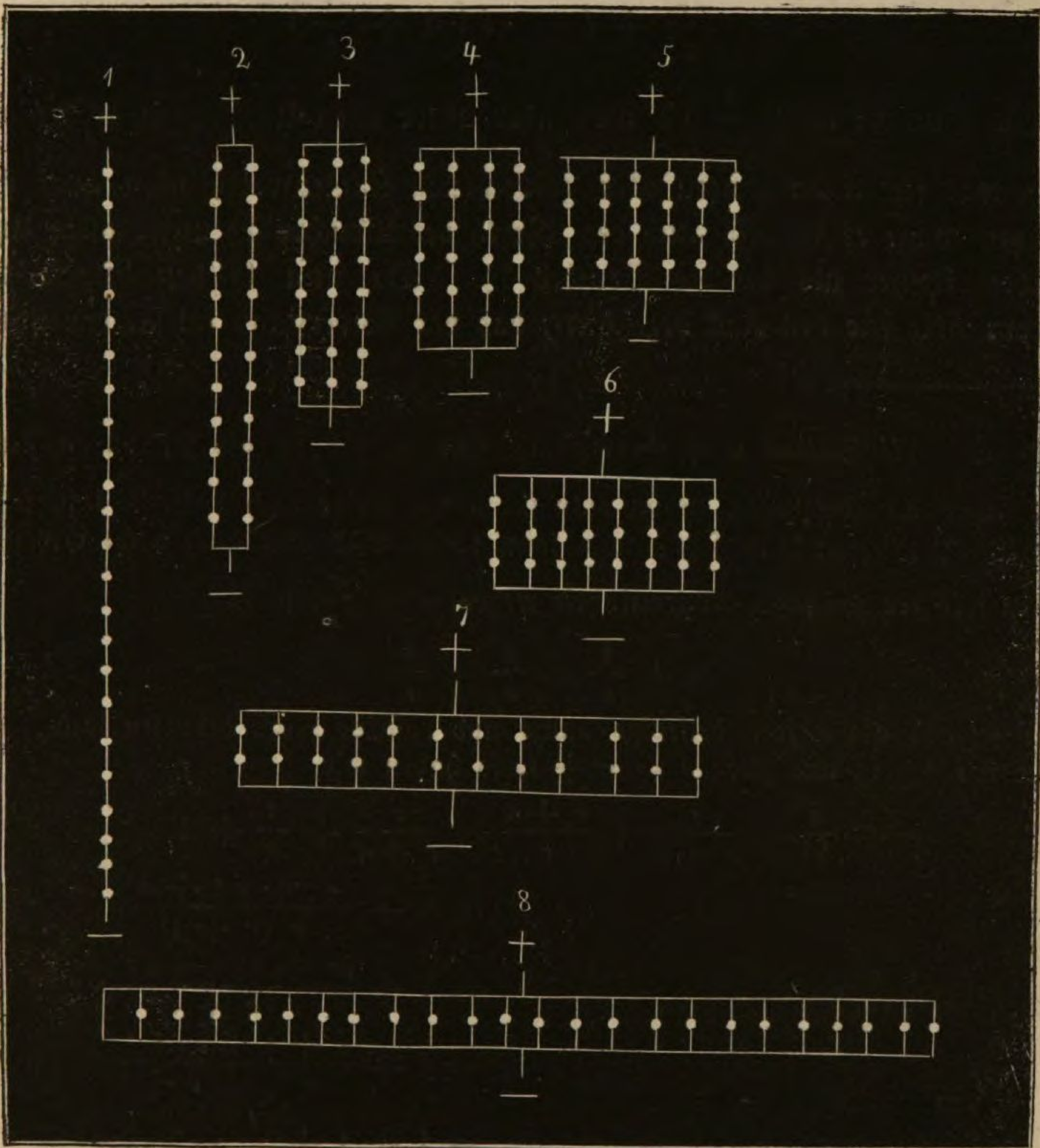
Macht man die Säule 3mal kürzer, so kann man 3mal soviel einzelne Elemente zu einem vereinigen; aus 12 zweifachen Elementen erhält man 4 sechsfache. Kurz, wenn man die Säule $a$mal kürzer macht, so kann man $a$mal soviel Einzelelemente zu einem vereinigen.

Wenn die Zahl der hinter einander zur Säule vereinigten Elemente $a$mal kleiner wird, so wird die elektromotorische Kraft dadurch $a$mal kleiner; hätte man nun die Kette bloß $a$mal kürzer gemacht, ohne ihre Breite zunehmen zu lassen, so würde auch der Leitungswiderstand $a$mal kleiner geworden seyn; wenn aber jedes Element der einen Säule aus $a$mal so

vielen Einzelelementen besteht als früher, so wird nun der Widerstand in der That a^2mal kleiner als vorher.

So ist der Leitungswiderstand für 6 vierfache Elemente (Combination Nr. 4) 4mal kleiner als für 12 Doppelelementen (Combination 2), er ist für 4 sechsfache Elemente (Combination 5) 9mal kleiner als für 12 doppelte u. s. w.

Fig. 101.



Nach dieser Auseinandersetzung ist nun der fragliche Beweis leicht zu führen. Es sey für irgend eine Combination mehrerer Elemente die elektromotorische Kraft E der wesentliche Leitungswiderstand l. Wird diese Säule durch einen Schließungsbogen geschlossen, dessen Widerstand ebenfalls l ist, so ist nach dem Ohm'schen Gesetze die Stromstärke

$$S = \frac{E}{l+l} = \frac{E}{2l} \;.\;.\;.\;.\;.\; 1)$$

Wird nun die Säule $a$mal kürzer, die einzelnen Elemente aber $a$mal breiter gemacht, so wird die elektromotorische Kraft $a$mal kleiner, sie wird $\frac{E}{a}$; der Leitungswiderstand der Kette wird aber $\frac{l}{a^2}$, die Stromstärke wird also jetzt bei gleichem Schließungsbogen

$$S' = \frac{\frac{E}{a}}{\frac{l}{a^2} + l} = \frac{E}{l\left(a + \frac{1}{a}\right)} \ldots\ldots 2)$$

Die Summe $a + \frac{1}{a}$ ist nun aber unter allen Umständen größer als 2 *), was für einen ganzen oder gebrochenen Zahlenwerth man auch für a setzen mag; es ist also auch der Werth des Bruches 2) unter allen Umständen kleiner als der des Bruches 1). Da nun 1) den Werth der Stromstärke für den Fall bezeichnet, daß der Widerstand im Elektromotor

---

*) Daß die Summe $a + \frac{1}{a}$ wirklich stets größer ist als 2, davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man für a der Reihe nach 1, 2, 3, 4 u. s. w. oder $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{1}{4}$ u. s. w. setzt; man kann diesen Satz aber auch leicht beweisen. Setzen wir der größeren Allgemeinheit wegen $a = \frac{r}{s}$, so ist

$$a + \frac{1}{a} = \frac{r}{s} = \frac{s}{r},$$

wo r sowohl als s jede beliebige ganze und positive Zahl bedeuten kann. Es sey nun $s > r$, und zwar $s = r + t$, so haben wir

$$\begin{aligned}\frac{r}{s} + \frac{s}{r} = \frac{r}{r+t} + \frac{r+t}{r} &= \frac{r}{r+t} + \frac{t}{r} + 1\\ &= 1 + \frac{r^2 + rt + t^2}{r(r+t)}\\ &= 1 + \frac{(r+t)^2 - rt}{r(r+t)}\\ &= 1 + \frac{r+t}{r} - \frac{t}{r+t}\\ &= 1 + 1 + \frac{t}{r} - \frac{t}{r+t}\\ &= 2 + t\left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r+t}\right)\end{aligned}$$

da nun $r + t$ jedenfalls größer ist als r, so ist der in den letzten Klammern stehende Ausdruck positiv, mithin auch $\frac{r}{s} + \frac{s}{r}$ größer als 2. Da aber $\frac{r}{s} + \frac{s}{r}$ nur eine veränderte Form für den Ausdruck $a + \frac{1}{a}$ ist, so ist also auch $a + \frac{1}{a} > 2$.

dem Widerstand des Schließungsbogens gleich ist, der Bruch 2) aber den Werth der Stromstärke für den Fall, daß dieselbe Anzahl von Einzelelementen auf irgend eine andere Weise combinirt ist, so ist hiermit der fragliche Satz bewiesen.

Die Anwendung dieses Satzes mag durch ein Beispiel erläutert werden. — Man will zur Magnetisirung eines Elektromagneten den Strom von 24 Zinkkohlen-Elementen anwenden; der Widerstand eines Elementes, mit schwacher Säure geladen, ist 15,05 (Seite 258). Der Widerstand der Windungen des Elektromagneten aber ergab sich gleich dem von 13,54 Meter Normaldraht, der Widerstand des Schließungsbogens ist also 0,9 von dem eines einzelnen Elementes. Ein Blick auf die Zusammenstellung Seite 289 sagt uns, daß wir die fünfte Combination als die vortheilhafteste wählen müssen, weil ihr Widerstand 0,66 dem des Schließungsbogens näher ist, als der der anderen Combinationen. Setzen wir der Kürze halber die elektromotorische Kraft des Elementes gleich 1, den Widerstand derselben ebenfalls gleich 1, so ergeben sich, wenn man der Reihe nach alle 8 Combinationen als Elektromotoren für den eben besprochenen Elektromagneten anwenden wollte, für die Stromstärke folgende Werthe:

$$1 \;.\;.\;.\;.\;.\;.\; \frac{24}{24 + 0{,}9} = 0{,}963$$

$$2 \;.\;.\;.\;.\;.\;.\; \frac{12}{6 + 0{,}9} = 1{,}74$$

$$3 \;.\;.\;.\;.\;.\;.\; \frac{8}{2{,}666 + 0{,}9} = 2{,}24$$

$$4 \;.\;.\;.\;.\;.\;.\; \frac{6}{1{,}5 + 0{,}9} = 2{,}5$$

$$5 \;.\;.\;.\;.\;.\;.\; \frac{4}{0{,}666 + 0{,}9} = \mathbf{2{,}54}$$

$$6 \;.\;.\;.\;.\;.\;.\; \frac{3}{0{,}375 + 0{,}9} = 2{,}36$$

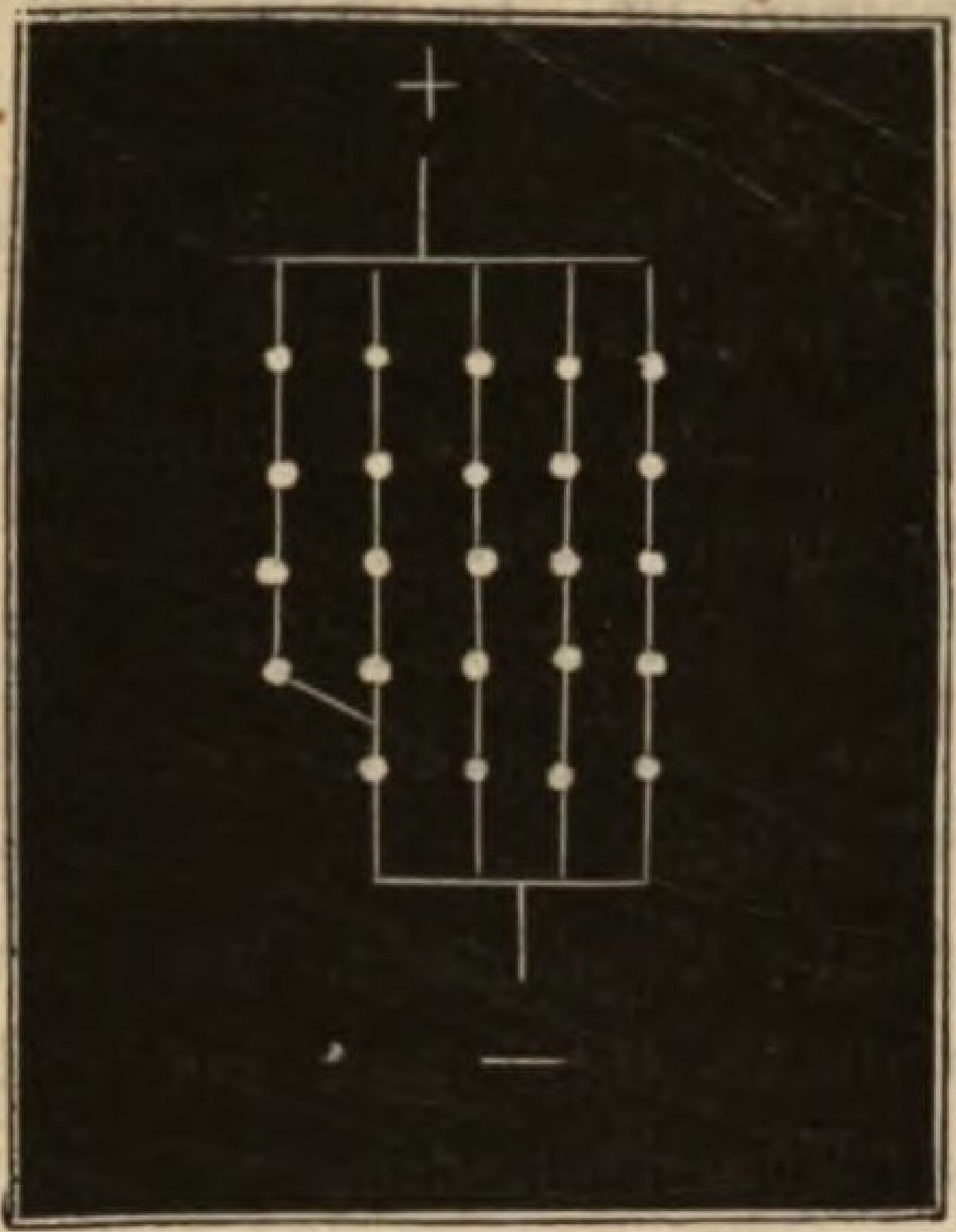
$$7 \;.\;.\;.\;.\;.\;.\; \frac{2}{0{,}166 + 0{,}9} = 1{,}85$$

$$8 \;.\;.\;.\;.\;.\;.\; \frac{1}{0{,}042 + 0{,}9} = 1{,}61.$$

Man sieht hier, daß für die Combination 5 die Stromstärke, und also auch, da ja die Drahtwindungen der Elektromagnete ungeändert bleiben, der Magnetismus des weichen Eisens größer seyn wird als bei den übrigen Combinationen. Die Combination 4 kommt in ihrer Wirkung der Combination 5 sehr nah, das eigentliche Maximum läßt sich also zwischen 4

und 5 erwarten. In der That giebt die in Fig. 102 dargestellte Combination die Stromstärke 2,56.

Fig. 102.



Ladet man dieselben Elemente mit stärkerer Säure, so wird der Widerstand des Elementes 5,85; der Widerstand des Schließungsbogens ist 2,3mal so groß als der eines Elementes, und für diesen Fall wäre die dritte Combination (8 dreifach Elemente) die vortheilhafteste.

Die vortheilhafteste Combination für einen gegebenen Wasserzersetzungsapparat werden wir weiter unten betrachten.

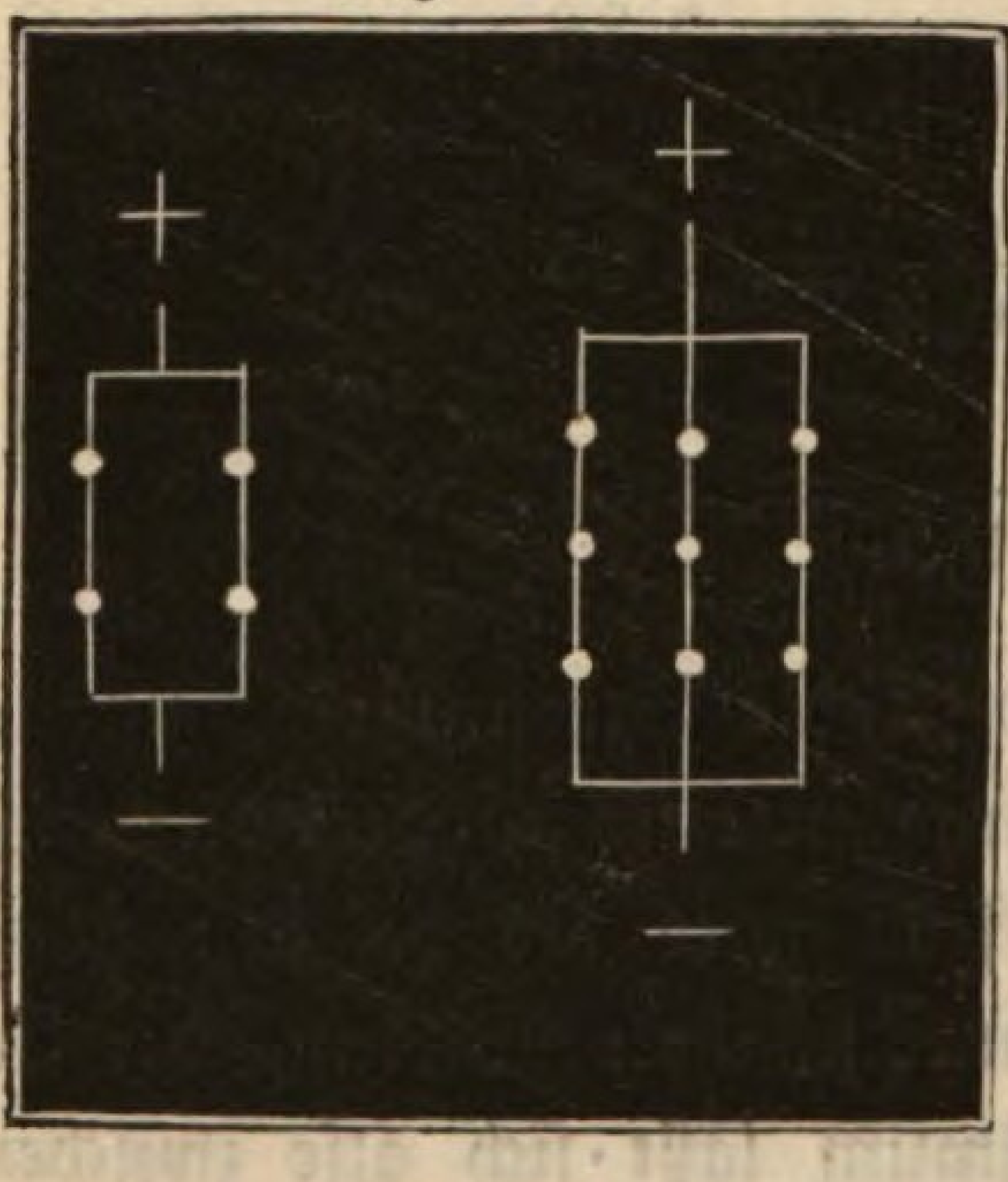
Hat man einmal eine gegebene Anzahl von Elementen so combinirt, daß sie in einem gegebenen Schließungsbogen ein Maximum von Stromstärke geben, so wird eine Vermehrung der Elemente die Stromstärke im günstigsten Falle nur im Verhältniß der Quadratwurzel aus der Elementenzahl vergrößern; man muß also 4mal, 9mal, 16mal so viel Elemente anwenden, um die 2fache, 3fache, 4fache Wirkung zu erhalten.

Suchen wir dies erst an einem speciellen Fall nachzuweisen. Es sey der Widerstand des Schließungsbogens gleich r, gleich dem Widerstande eines Elementes, dessen elektromotorische Kraft mit E bezeichnet werden soll, so ist die Stromstärke

$$S = \frac{E}{r + r} = \frac{E}{2r}.$$

Die Stromstärke soll nun durch Vermehrung der Elementenzahl verdoppelt werden. Soll die neue Combination ein Maximum von Effect geben, so muß der Widerstand in der Kette so groß bleiben als der Widerstand des Schließungsbogens, der Widerstand der neuen Combination darf also nicht größer werden als der eines einzigen Elementes; wir werden also die doppelte Stromstärke erhalten, wenn wir bei unverändertem Widerstande die elektromotorische Kraft verdoppeln. Die elektromotorische Kraft wird verdoppelt dadurch, daß 2 Elemente hinter einander gesetzt werden; wir müssen aber 2 Doppelelemente nehmen, wenn ihr Widerstand eben so groß seyn soll wie der eines einzelnen Elementes; die Combination Fig. 102 wird also eine 2mal, die Combination Fig. 103 wird eine 3mal so große Stromstärke geben als ein einzelnes Element.

Fig. 103.



Betrachten wir die Sache etwas allgemeiner, a Becher seyen so combinirt, daß der Widerstand der Kette dem Widerstande des Schließungsbogens gleich ist, daß also das Maximum der Wirkung erreicht wird, welches die a Becher in dem gegebenen Schließungsbogen hervorbringen können. Stellt man 2mal, 3mal, ... $n$mal so viel Becher neben einander, so daß jedes Element der Säule also gleichsam eine 2mal, 3mal, ... $n$mal größere Oberfläche erhält; macht man aber gleichzeitig die Säule auch 2, 3, . . . $n$mal so lang, indem man auch 2, 3 . . . $n$mal so viel Elemente hinter einander stellt; so hat man in allen 4mal, 9mal . . . . n^2mal so viel Becher verwandt. Der Widerstand der Kette bleibt dabei unverändert, die Stromstärke wächst also in demselben Verhältniß, in welchem die elektromotorische Kraft, in welchem die Zahl der hinter einander stehenden Elemente zunimmt, sie ist also 2, 3, . . . $n$mal größer geworden. Mit $4\,a$, $9\,a$ . . . $n^2\,a$ Becher können wir also im günstigen Fall eine 2mal, 3mal, $n$mal größere Stromstärke erhalten, als die ist, welche man mit a Elementen erzielen kann.

Zweckmäßigste Einrichtung des Schließungsbogens, um mit einem gegebenen Elektromotor ein Maximum von Wirkung zu erhalten. 124 In anderen Fällen ist der Elektromotor gegeben, und man fragt, wie muß man die Drahtwindungen wählen, um ein Maximum von Wirkung zu erhalten; soll man aus derselben Quantität Kupfer viele Windungen eines dünnen und langen Drahtes, oder weniger Windungen mit kürzerem und dickerem Drahte machen. Bei Multiplicatoren ist die Quantität des Kupferdrahtes, welche man anzuwenden hat, begränzt durch die Größe des Raumes, welchen man zweckmäßiger Weise mit Drahtwindungen ausfüllen kann; bei Elektromagneten ist die Quantität des Kupferdrahtes durch die Geldsumme bedingt, welche man zu seiner Construction verwenden will.

Nehmen wir an, der Widerstand eines Kupferdrahtes von einer bestimmten Länge und Dicke, welche n Windungen giebt, sey gleich l, gleich dem wesentlichen Widerstande des Elektromotors, so ist die Stromstärke

$$S = \frac{E}{l + l} = \frac{E}{2\,l},$$

und diese Stromstärke wirkt in n Windungen auf die Magnetnadel oder das weiche Eisen, wir können diese Wirkung so bezeichnen mit

$$M = n \cdot \frac{E}{2\,l} \ldots\ldots \quad 1)$$

Macht man den Draht bei unveränderter Masse $m$mal so lang, so wird sein Querschnitt $m$mal kleiner, und also der Widerstand m^2mal größer, die Stromstärke ist also jetzt

$$S' = \frac{E}{l + m^2\,l} = \frac{E}{l\,(1 + m^2)},$$

aus dieser Drahtlänge kann man aber $m$mal so viel Windungen machen als vorher, die magnetische Wirkung ist also jetzt

$$M' = m \cdot n \cdot \frac{E}{l\,(m^2+1)} = n \frac{E}{l\left(m+\frac{1}{m}\right)} \;.\;.\;.\;.\;.\; 2)$$

Der Werth von M ist aber, wie schon oben bewiesen wurde, stets größer als der Werth von M' in Gleichung 1). Mit einer gegebenen Drahtmasse erreicht man also ein Maximum magnetischer Wirkung, wenn man dem Draht eine solche Dicke und Länge giebt, daß der Widerstand in den Windungen dem Widerstande des Elementes gleich ist.

Man will z. B. 8 Pfund Kupferdraht zur Construction eines Elektromagneten verwenden, zu dessen Erregung man eines der oben Seite 256 besprochenen Daniell'schen Elemente zu benutzen gedenkt; wie dick muß man den Draht machen?

Der Widerstand jenes Elementes ist gleich dem Widerstande von 11,1 Meter Normaldraht. Der Normaldraht hat einen Querschnitt von 0,785 Quadratmillimeter oder 0,00785 Quadratcentimeter; eine Länge von 11,1 Metern oder 1110 Centimetern hat also einen Körperinhalt von 8,71 Kubikcentimetern. Das specifische Gewicht des zu Draht gezogenen Kupfers ist 8,88; mithin beträgt das Gewicht des Normaldrahtes, welcher gleichen Leitungswiderstand wie das Element hat, $8{,}71 \times 8{,}88 = 77{,}34$ Grm.

Die Drahtmasse, über welche man zu disponiren hat, wiegt aber nicht 77,34 Gramm, sondern sie wiegt 8 Pfund oder 4000 Grm., wir haben also eine $\frac{4000}{77{,}34} = 51{,}7$ mal so große Drahtmasse als die des Normaldrahtes, welcher die Bedingung erfüllt.

Wenn man statt eines Drahtes von bestimmtem Durchmesser und bestimmter Länge einen Draht von 3fachem Durchmesser nimmt, so ist sein Querschnitt $3 \cdot 3 = 9$mal größer, man muß also auch dem Draht eine 9fache Länge geben, wenn der Leitungswiderstand unverändert bleiben soll; das Volumen des Drahtes ist jetzt $81 = 3^4$mal so groß als es vorher war. Ein $n$mal so dicker Draht muß von n^2mal so großer Länge, also von n^4mal so großer Masse genommen werden, wenn sein Leitungswiderstand unverändert bleiben soll.

Bei $p$facher Masse muß man also dem Draht eine $\sqrt{p}$fache Länge und einen $\sqrt[4]{p}$fachen Durchmesser geben, wenn der Leitungswiderstand unverändert bleiben soll.

Die Kupfermasse, über welche wir zu disponiren haben, ist 51,7mal so

groß als die eines Normaldrahtes, welcher denselben Leitungswiderstand ausübt wie das Element, wir müssen also aus dieser Kupfermasse einen Draht machen, welcher $\sqrt{51,7} = 7,18$ mal so lang und $\sqrt[4]{51,7} = 2,68$ mal so dick ist als der 11,1 Meter lange Normaldraht. Wenn also die 8 Pfund Kupferdraht als Draht denselben Leitungswiderstand ausüben sollen, wie das Daniell'sche Element, so muß man den Draht 2,68 Millimeter dick wählen, wobei er eine Länge von $7,18 \times 11,1 = 79,7$ Meter hat.

Hätte man den Elektromagneten für ein Stöhrer'sches Element einrichten wollen, dessen wesentlicher Widerstand gleich dem von 6,2 Metern Normaldraht ist, so hätte sich aus ähnlichen Betrachtungen ergeben, daß man die 8 Pfund von einem 3,1 Millimeter dicken Draht hätte nehmen müssen; die Länge desselben ergiebt sich gleich 60 Metern.

Wendet man den für die Daniell'sche Kette construirten Elektromagneten und diese Kette an, so ist die Stromstärke

$$\frac{E}{11,1 + 11,1} = \frac{E}{22,2}.$$

Ist der Draht in n Windungen um das Eisen gefügt, so können wir den magnetischen Effect mit

$$M = n \, . \, \frac{E}{22,2}$$

bezeichnen. Hätte man den Draht doppelt so lang, also von halbem Querschnitt gewählt, so wäre sein Widerstand 4mal größer, also 44,4, und die Stromstärke $\frac{E}{11,1 + 44,4} = \frac{E}{55,5}$ geworden; diese Stromstärke wird aber in $2\,n$ Windungen um das Eisen geführt, also wäre jetzt der magnetische Effect

$$M' = 2n \frac{E}{55,5} = n \frac{E}{27,7}.$$

Hätte man einen halb so langen Draht von doppeltem Querschnitt genommen, so hätte man den magnetischen Effect

$$M'' = \tfrac{1}{2} n \frac{E}{13,9} = n \frac{E}{27,8}$$

erhalten. Man sieht, daß in der That die Werthe von M' und M'' kleiner sind als der von M.

Nach diesen Principien läßt sich auch ermitteln, wie man zu einer gegebenen thermoelektrischen Säule einen möglichst empfindlichen Multiplicator zu construiren habe, eine Frage, welche auf theoretischem Wege freilich schon lange gelöst ist; bis jetzt aber hat man es immer noch versäumt, dieser Lösung eine für die praktische Anwendung leicht zugängliche Form

zu geben. Wir wollen uns deshalb bei diesem Gegenstand noch etwas verweilen.

So besitzt z. B. unser physikalisches Cabinet eine **thermoelektrische Säule** mit dazu gehörigem **Galvanometer**. Ich fand den

Widerstand der Thermosäule = 18,34 Meter Normaldraht
» des Multiplicatordrahts 1,75 » »

Der Widerstand des Multiplicatordrahtes ist also über 10mal geringer als der Widerstand der Thermosäule.

Bezeichnen wir die elektromotorische Kraft der Thermosäule mit E, so ist die Stromstärke

$$S = \frac{E}{18{,}34 + 1{,}75} = \frac{E}{20}'$$

diese Stromstärke wird in n Windungen um die Nadel geführt, der magnetische Effect ist also

$$M = n\,\frac{E}{20}.$$

Hätte man nun dieselbe Drahtmasse zur dreifachen Länge ausgezogen, so wäre ihr Widerstand 9mal größer, er wäre $9 \times 1{,}75 = 15{,}75 =$ also in der That nahe gleich dem der Thermosäule geworden. Nun wäre die Stromstärke.

$$S' = \frac{E}{18{,}3 + 17{,}75} = \frac{E}{36}$$

und die magnetische Wirkung

$$M' = 3n\frac{E}{36} = n\,\frac{E}{12}$$

geworden, weil wir ja jetzt den Strom in $3\,n$ Windungen um den Draht führen. Der Werth M' ist in der That nahe doppelt so groß als M.

Bei gleicher Quantität Kupferdraht könnte also der Multiplicator für die besagte Thermosäule doppelt so empfindlich gemacht werden, wenn man den Draht zu dreifacher Länge auszöge, so daß er dreimal soviel Windungen von dreimal geringerem Querschnitt gäbe.

Daß man den Draht zu diesem Multiplicator zu kurz und zu dick genommen hat, rührt ohne Zweifel daher, daß man von der Voraussetzung ausging, der Leitungswiderstand der Thermosäule, welche aus lauter Metallen besteht, könne nicht groß seyn, man dürfe also nur einen etwas dicken nicht zu langen Draht wählen. — Man sieht, daß man in solchen Dingen mit ungefähren Schätzungen nicht ausreicht.

125 **Vergleichung der Wirkung verschiedener Ketten in gegebenen Fällen.** Nach den oben mitgetheilten Constanten verschiedener Ketten kann man für jeden gegebenen Fall die Stromstärke berechnen. Wenn der Widerstand des Schließungsbogens l ist, so ist für eine Zinkkohlenkette,

wenn ihre mittlere Oberfläche gleich 1 Quadratdecimeter ist, bei Anwendung Stöhrer'scher Zellen und Schwefelsäure auf Wasser, die Stromstärke

$$S = \frac{824}{12 + l}.$$

Für ein gleichgroßes Daniell'sches Element würde bei gleich stark verdünnter Schwefelsäure die Stromstärke

$$\frac{470}{12 . 1{,}8 + l} = \frac{470}{21{,}6 + l}$$

seyn. Ist l sehr klein gegen den wesentlichen Widerstand der Elemente, so verhalten sich die Stromstärken wie $\frac{824}{12}$ zu $\frac{470}{21{,}6}$ oder wie 68,6 zu 21,8; die Stromstärke ist also über 3mal so groß für die Zinkkohlenkette. Bei sehr guter Schließung wird also ein Zinkkohlenelement so viel leisten als ein Daniell'sches von 3mal so großer mittlerer Oberfläche.

Für einen sehr großen Widerstand stellt sich das Verhältniß anders heraus, es verhalten sich dann die Stromstärken wie die elektromotorischen Kräfte, also wie 470 zu 824; in diesem Falle würde man durch Vergrößerung der Oberfläche des Zinkkupferelementes nicht viel gewinnen, man müßte zwei Daniell'sche Elemente hintereinander stellen, um dieselbe Wirkung zu erhalten, wie mit einem Zinkkohlenelement.

Den Effect einer Zinkkohlensäule kann man also in allen Fällen mit einer Daniell'schen auch erreichen, wenn die einzelnen Elemente die dreifache Oberfläche haben und man ihrer doppelt so viel anwendet, als man Zinkkohlenelemente nöthig hatte.

Was von der Zinkkohlenkette gesagt wurde, gilt auch von der Grove'schen, da die Constanten beider fast gleich sind.

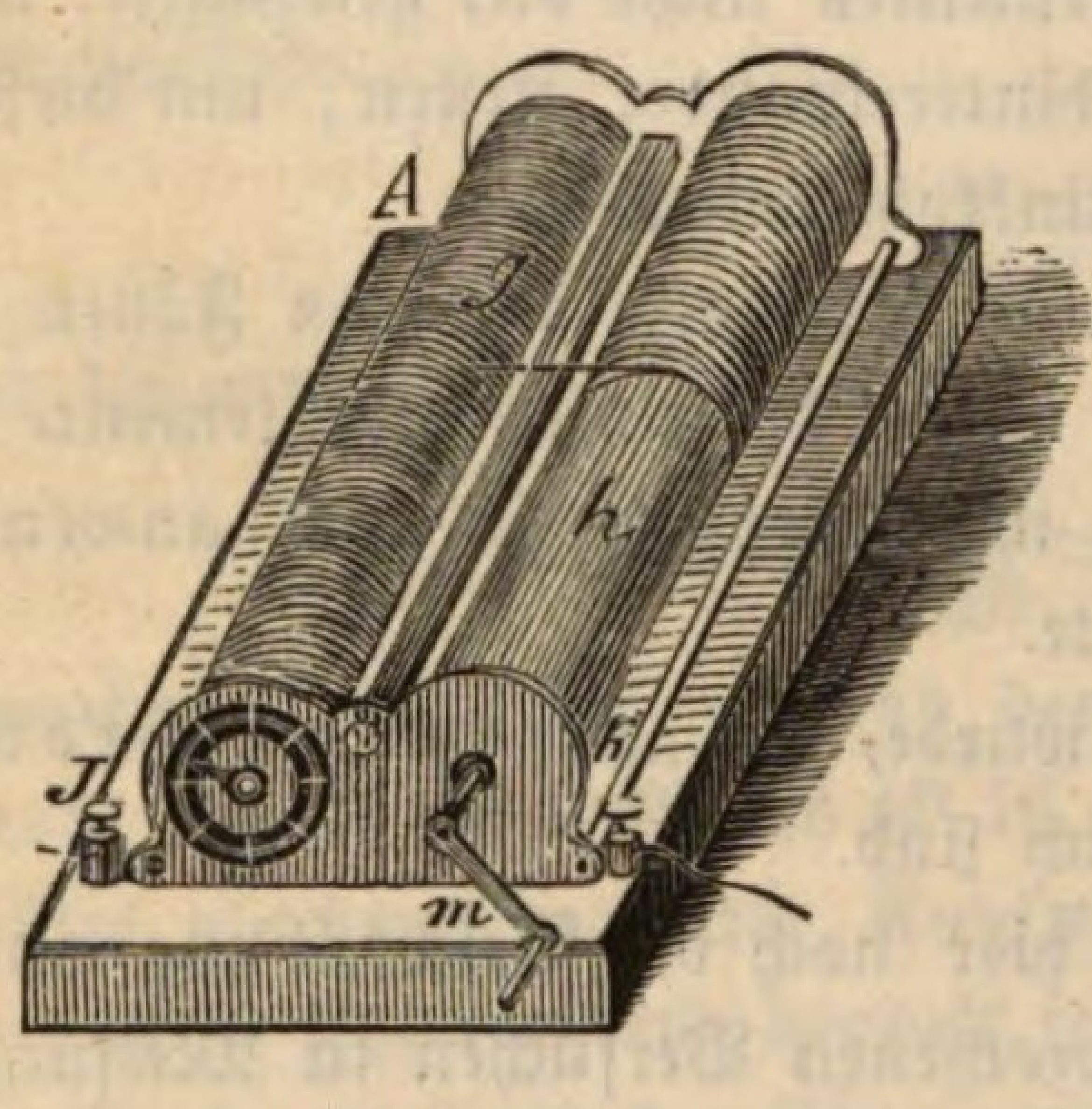
Als Schluß dieses Abschnitts folgt hier noch die Beschreibung einiger Instrumente, welche bei den bisher besprochenen Versuchen in Messungen in Anwendung kommen.

Rheostate. Um den Leitungswiderstand im Schließungsbogen eines 126
Rheomotors innerhalb der erforderlichen Gränzen allmälig verändern zu können, ohne die Kette öffnen zu müssen, sind mehrere Instrumente vorgeschlagen worden, namentlich von Jakobi und Wheatstone. Jakobi nennt sein Instrument Agometer. Die Beschreibung desselben ist in Poggendorff's Annalen, Bd. LIV. 340, LIX. 145, zu finden. Ein Instrument dieser Art ist ohne Zweifel sehr kostspielig, weshalb es wohl keine weite Verbreitung finden dürfte, um so mehr, da Wheatstone's zu gleichem Zweck construirte Instrumente, bei gleicher Zweckdienlichkeit, ungleich einfacher und bequemer zu handhaben sind.

In meinem Lehrbuch der Physik (3te Aufl. 2ter Bd. Seite 193) habe ich bereits einen Wheatstone'schen Rheostaten mit dickem Drahte beschrieben, welcher anzuwenden ist, wenn der Widerstand des Schließungsbogens überhaupt nicht sehr bedeutend ist. Wenn der Gesammtwiderstand in der Kette aber sehr groß ist, so würde man sehr große Längen dieses dicken Drahtes ab- oder aufwickeln müssen, um eine merkliche Veränderung der Stromstärke zu erzielen; in solchem Falle muß man also einen Rheostaten mit dünnem Draht anwenden, welcher der Natur der Sache nach eine andere Construction haben muß.

Wheatstone's Rheostat mit dünnem Draht (Poggend. Annalen, LXII., 499) ist Fig. 104 dargestellt. Es ist *g* ein Cylinder von trocknem Holz, ungefähr 6″ lang und $1\frac{1}{2}$ Zoll im Durchmesser; *h* ist ein Cylinder von Messing, welcher dieselben Dimensionen hat. Die Axen beider Cylinder sind einander parallel. Auf dem Holzcylinder ist ein Schraubengang eingeschnitten, und an einem seiner Enden (dem vorderen unserer Figur) trägt derselbe einen Messingring, an welchem das Ende eines langen und sehr dünnen Drahtes befestigt ist. Dieser wird auf den Holzcylinder so aufgewickelt, daß er die sämmtlichen Schraubengänge ausfüllt, und dann mit seinem andern Ende auf dem jenseitigen Ende des Messingcylinders befestigt. — Die zum Einschrauben von Drähten bestimmten Messingsäulchen *J* und *k*, sitzen auf Metallfedern, von denen die eine gegen das vordere Ende des Messingcylinders *h*, die andere gegen den Messingring des Holzcylinders drückt (in der Fig. sind die Federn nicht sichtbar). Die abnehmbare Kurbel *m* dient zum Drehen der Cylinder um ihre Axen. Steckt man sie auf den Cylinder *h* und dreht man nach der Rechten, so wird der Draht vom Holzcylinder ab und auf den Messingcylinder gewickelt; steckt man sie dagegen auf den Cylinder *g* und dreht nach der Rechten, so geschieht das Umgekehrte. Da die Windungen auf dem Holzcylinder isolirt und durch die Schraubengänge von einander entfernt gehalten werden, so durchläuft der Strom auf diesem Cylinder den Draht seiner ganzen Länge nach; allein auf dem Messingcylinder, wo die Windungen nicht isolirt sind, geht der Strom sogleich von dem Punkte, wo der Draht den Cylinder berührt, zu der Feder bei *k*. Der als Widerstand wirksame Theil der Drahtlänge

Fig. 104.



ist also das veränderliche Stück, welches sich auf dem Holzcylinder befindet.

Von den Schraubengängen des Holzcylinders gehen 40 auf einen Zoll. Der Draht ist von Messing, und hat 0,01 Zoll im Durchmesser.

Zur Zählung der abgewickelten Windungen ist eine Skale zwischen den beiden Cylindern angebracht, und die Bruchtheile einer Windung bestimmen sich mittelst eines Zeigers, der an der Axe des einen Cylinders befestigt ist, und auf die Theilpunkte eines graduirten Kreises hinweist.

Die Art und Weise, wie dies Instrument anzuwenden ist, bedarf wohl nach dem, was ich in meinem Lehrbuche der Physik über die Anwendung des andern Rheostaten gesagt habe, keiner Erläuterung mehr.

Differentialwiderstandsmesser. Um den Widerstand von Metall- 127
drähten zu bestimmen, hat Wheatstone ein sehr einfaches Verfahren angegeben, welches bereits in meinem Lehrbuche der Physik (3te Aufl. 2ter Bd. Seite 195) besprochen worden ist. Man schaltet nämlich in den Schließungsbogen eines constanten Elementes das Rheostat, das Galvanometer und den Draht ein, dessen Widerstand ermittelt werden soll, und regulirt den gesammten Widerstand so, daß die Nadel auf irgend einen beliebigen Punkt a der Bussolentheilung zu stehen kommt. Nimmt man nun den Draht aus der Schließung heraus, so wird nur die Nadel eine größere Ablenkung zeigen, und um sie wieder auf den Punkt a zurückzubringen, muß man noch eine bestimmte Anzahl von Umgängen des Rheostaten dem vorhandenen Widerstande hinzufügen. Man erfährt auf diese Weise, wie groß der Widerstand des fraglichen Drahtes ist, ausgedrückt in Windungen des Rheostaten.

Nach dieser Methode erhält man ziemlich gleich genaue Resultate, mag man nun einen Multiplicator, oder die ungleich weniger emdfindliche Tangentenbussole, oder irgend ein anderes Galvanometer anwenden. Der Grund davon ist folgender: Um an einer Tangentenbussole eine Ablenkung etwa von 45° hervorzubringen, darf der Gesammtwiderstand des Schließungsbogens nicht sehr groß seyn. Nehmen wir an, R sey der Gesammtwiderstand der ganzen Kette für diesen Fall, und eine Vermehrung oder Verminderung dieses Widerstandes r bringe eine solche Veränderung in der Stromstärke hervor, daß die Ablenkung der Nadel um 1° verändert wird.

Wendet man nun einen Multiplicator an, der etwa 150mal empfindlicher ist als die Tangentenbussole, so wird der Gesammtwiderstand der Kette nahezu 150 R seyn müssen, wenn die Ablenkung der Nadel des Multiplicators auch um 45° abgelenkt werden soll. Um eine gleiche Veränderung in der Stromstärke hervorzubringen, wie die oben erwähnte

war, muß man jetzt den Widerstand um 150 r vermehren oder vermindern müssen. Weil aber der Multiplicator 150mal empfindlicher ist als die Tangentenbussole, so wird schon der 150ste Theil dieser Widerstandsveränderung, also ebenfalls r genügen, um den Stand der Nadel um 1° zu vergrößern oder zu verkleineren; dieselbe Widerstandsänderung r bringt also an beiden Instrumenten nahe zu gleiche Ablenkungsänderungen hervor.

Soll der Multiplicator ganz geringe Veränderungen im Schließungsbogen angeben, so muß dafür gesorgt werden, daß die entsprechende Stromdifferenz im Multiplicator zur Wirkung kommt, ohne daß schon ein sehr bedeutender Widerstand im Schließungsbogen eingeschaltet ist. Wheatstone hat dies mit Hülfe der Fig. 105 dargestellten Vorrichtung, welche er Differential-Widerstandsmesser nennt, erreicht. Auf einem Brette, etwa 14 Zoll lang und 4 Zoll breit, sind, ein Parallelogramm bildend, die Messingsäulchen a, b, c und d befestigt, ferner zwischen a und d noch die Säulchen e und f, zwischen d und b die Säulchen g und h. Diese Säulchen, welche mit Klemmschrauben versehen sind, damit man Drähte in sie einschrauben kann (also Säulchen wie die, welche sich an dem Instrumente befinden, das Seite 211 des 2ten Bandes meines Lehr-

Fig. 105.

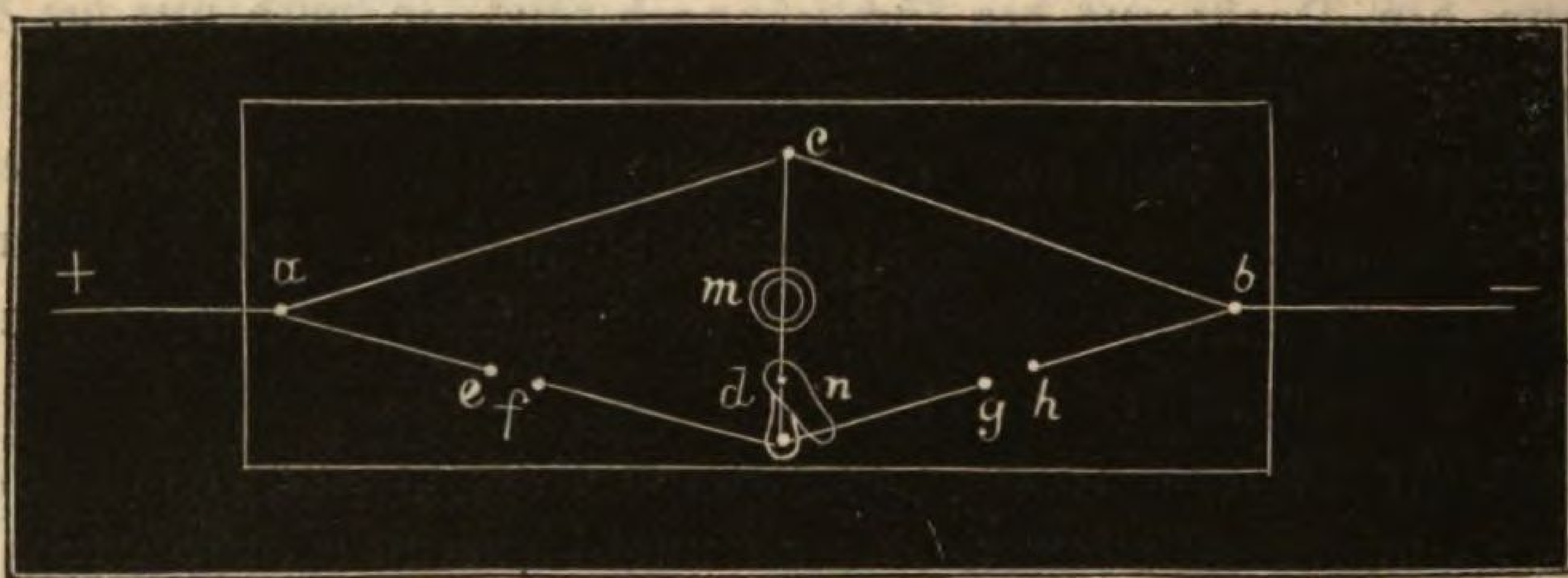
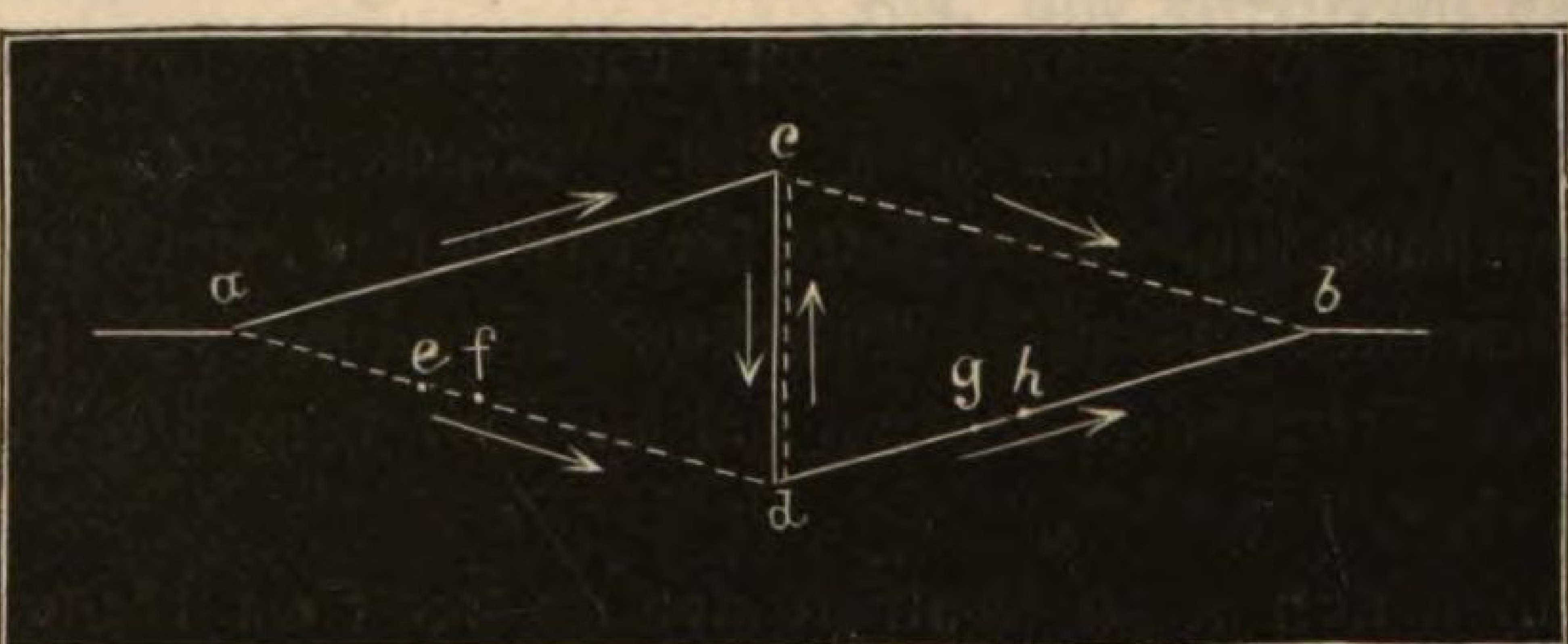


Fig. 106.



buchs abgebildet ist), sind durch Drähte verbunden, wie man in der Figur sieht. — In a wird nun der eine, in b der andere Poldraht des Elektromotors eingeschraubt; ferner sind die Enden des Multiplicatordrahtes in

c und *d* eingeschraubt, so daß die Säulchen *c* und *d* durch den Multiplicator *m* in leitender Verbindung stehn; zwischen *e* und *f* ist ein Drahtstück und ein anderes zwischen *g* und *h* eingeschaltet. Die Ströme verzweigen sich hier in mannigfacher Art, wir aber haben nur die zu betrachten, welche durch den Multiplicator gehen.

Ein Strom geht von *a* nach *c*, von *c* durch *m* nach *d*, von *d* über *g* und *h* nach *b*, wie es in Fig. 106 durch die ausgezogene Linie angedeutet ist; ein anderer Strom, welcher den Multiplicator in entgegengesetzter Richtung durchläuft, geht von *a* über *e* und *f* nach *d*, von *d* durch *m* nach *c* und endlich von *c* nach *b*, wie es in Fig. 106 durch die punktirte Linie angedeutet ist. Sind die Widerstände in den beiden Drahtleitungen *acdb* und *adcb* vollkommen gleich, so sind es auch die beiden durch den Multiplicator gehenden Ströme, die Nadel wird also auf dem Nullpunkte stehen bleiben.

Macht man nun den zwischen *e* und *f* eingeschalteten Draht nur ein wenig länger oder kürzer, so werden die beiden, in entgegengesetzter Richtung durch den Multiplicator gehenden Stöme nicht mehr gleich seyn, die Differenz der Stromstärke wird die Ablenkung der Nadel bewirken. Da nun aber die Summe aller Leitungswiderstände hier überhaupt nicht groß ist, so wird auch eine ganz geringe Veränderung des zwischen *e* und *f* eingeschalteten Widerstandes eine merkliche Veränderung der Stromstärke, also eine merkliche Ablenkung der Nadel bewirken.

Um nun mittelst dieser Vorrichtung den Widerstand eines Drahtes in Windungen des Rheostaten ausgedrückt zu erhalten, kann man folgenderweise verfahren. Man schalte zwischen *e* und *f* den Rheostaten mit einigen Windungen und zwischen *g* und *h* einen Draht ein, dessen Widerstand nahezu dem des auf der andern Seite eingeschalteten Theils des Rheostaten gleich ist, und regulire Alles so, daß die Nadel auf 0 zu stehen kommt *). Schaltet man nun zwischen *g* und *h* außer dem schon vorhandenen noch den Draht ein, dessen Widerstand man ermitteln will, so muß man auf der andern Seite noch eine Reihe von *n* Rheostatenwindungen einschalten, um die Nadel wieder auf 0 zu bringen. Diese

*) Um eine solche Regulirung zu erleichtern, hat Wheatstone noch eine besondere Vorrichtung an seinem Instrumente angebracht. Das Säulchen *d* sitzt auf einem Messingstücke fest. An dem anderen Ende dieses Messingstreifens dreht sich um einen Stift das Messingstück *n*, dessen freies Ende auf den Draht liegt. Wenn *n* an *d* anliegt, so hat es keinen weitern Einfluß, je weiter es aber von *d* gegen *g* hin gerückt wird, desto mehr wird der Widerstand auf dem Wege *dg* vermindert. Wenn es nöthig ist, so kann man das drehbare Messingstück *m* auch auf die andere Seite von *d* bringen.

Zahl n der noch einzuschaltenden Umgänge des Rheostatendrahtes ist nun das Maaß für den Widerstand des fraglichen Drahtes.

Außer dieser Vorrichtung hat Wheatstone noch einige andere zu gleichem Zwecke construirt; hier mag die Beschreibung der einfachsten genügen.

Dritter Abschnitt.

Leitungswiderstand der Metalle und Flüssigkeiten, galvanische Polarisation und Passivität.

Um nach der Ohm'schen Formel die Stromstärke in gegebenen Fällen berechnen zu können, reicht es nicht hin, die Constanten des Elektromotors zu kennen, man muß auch den Leitungswiderstand der festen Leiter kennen, welche in den Schließungsbogen eingeschaltet sind, und falls der Strom auch eine Zersetzungszelle zu durchlaufen hat, außer dem Leitungswiderstand der Flüssigkeiten auch die an den Elektroden auftretende elektromotorische Gegenkraft, die sogenannte galvanische Polarisation. Die Leitung des Stromes hängt aber bekanntlich außer den Dimensionen der Körper auch von ihrem specifischen Leitungsvermögen ab, welches wir zunächst betrachten wollen. 128

Leitungswiderstand der Metalle. Nach der Wheatstone'schen Methode hat Buff den Leitungswiderstand einiger Metalle bestimmt wie folgt (Jahresbericht von Liebig und Kopp für 1847 und 1848 Seite 286.): 129

Silber	0,954
Kupfer, chemisch rein .	1
Kupfer des Handels	
erste Sorte . . .	1,170
zweite Sorte . .	1,507
Neusilber	11,833.

Buff hat bei seinen Angaben den Leitungswiderstand des Silbers zur Einheit genommen; weil wir aber alle Widerstände mit Kupferdraht vergleichen, so habe ich Buff's Angabe auf dieses Metall reducirt.

Um den absoluten Werth des Leitungswiderstandes eines Drahtes von diesen Verhältnißzahlen zu unterscheiden, schlage ich vor, diese den speci=

fischen Leitungswiderstand zu nennen. Der specifische Leitungswiederstand eines Metalls ist die Zahl, welche angiebt, um wie viel mal sein Leitungswiderstand größer ist, als der eines Kupferdrahts von gleichen Dimensionen. Bezeichnen wir mit s den specifischen Leitungswiderstand eines Metalles, so ist der absolute Leitungswiderstand w eines Drahtes von der Länge l und dem Radius r

$$w = s\,\frac{l\,.\,0{,}785}{\pi r^2}.$$

Der specifische Leitungswiderstand ist dasselbe, was Rieß die elektrische Verzögerungskraft nennt; der reciproke Werth des specifischen Leitungswiderstandes wurde bisher mit dem Namen der Leitungsfähigkeit bezeichnet. Es scheint aber in der That zweckmäßig, statt der Zahlenwerthe für die Leitungsfähigkeit die des specifischen Leitungswiderstandes in Anwendung zu bringen.

Die von Buff bestimmten Zahlenwerthe für den specifischen Leitungswiderstand von Silber, Kupfer und Neusilber, welche oben mitgetheilt wurden, dürften wohl vorzugsweise großes Zutrauen verdienen, weil sie mit großer Sorgfalt und, worauf ich noch ganz besondern Werth lege, nach einer einfachen und directen Methode ermittelt wurden, welche dessen ungeachtet der größten Genauigkeit fähig ist. Das Silber war eigens zu diesem Zwecke im chemischen Laboratorium zu Gießen dargestellt worden. Das reine Kupfer war mit großer Sorgfalt auf galvanischem Wege bereitet, aber dennoch nicht ganz frei von Eisen, indem es einer chemischen Analyse zufolge nach 0,02 Procent dieses Metalls enthielt. Die erste Sorte des Handelskupfers enthielt 0,22 Procent Eisen, die zweite Sorte neben einer Spur von Eisen 0,2 Procent Blei und 0,26 Procent Nickel.

In der folgenden Tabelle sind neben den Leitungswiderständen verschiedener Metalle, wie sie E. Becquerel (Ann. de chimie et de physique 3. serie XVII.242.; P. A. LXX. 243) bestimmte, die von Rieß gefundenen gestellt (Seite 130), und zwar den specifischen Leitungswiderstand des Kupfers zur Einheit genommen.

	Rieß.	Becquerel. hart	Becquerel. geglüht	Frick u. Müller.
Silber . . .	0,67	0,95	0,89	—
Kupfer . . .	1,00	1	0,97	1
Gold . . .	1,13	1,38	1,36	—
Kadmium . .	2,61	3,62	—	—
Messing . .	3,61	—	—	4
Zink	—	3,69	—	—
Palladium . .	5,49	6,63	—	—

	Rieß.	Becquerel. hart	Becquerel. geglüht	Frick u. Müller.
Eisen . . .	5,66	7,44	7,30	6,4
Platin . . .	6,44	11,08	10,99	—
Zinn . . .	6,80	6,52	—	—
Nickel . . .	7,69	—	—	—
Blei	9,70	10,86	—	—
Neusilber . .	11,29	—	—	13,3
Quecksilber . .	—	49,49	—	—

Die Methode, nach welcher Becquerel diese Zahlen erhalten hat, ist im Wesentlichen folgende. Sein Galvanometer, welches er Differenzialgalvanometer nennt, ist durch zwei ganz gleiche neben einander herlaufende gesonderte Drähte gebildet, jeder ist 3 Meter lang. Die Enden der beiden Multiplicatorwindungen werden nun so mit dem Elektromotor verknüpft, daß der Strom in beiden Gewinden eine entgegengesetzte Richtung hat, daß also nur die Differenz der beiden Stromstärken zur Wirkung kommt. In dem einen Schließungsbogen ist nun ein Rheostat eingeschaltet, vermittelst dessen man den Widerstand der beiden Schließungsbogen vollkommen gleich machen kann, so daß die Galvanometernadel auf dem Nullpunkt stehen bleibt. Schaltet man nun in den andern Schließungsbogen den zu bestimmenden Draht ein, so muß man, um die Galvanometernadel auf dem Nullpunkt zu erhalten, mittelst des Rheostats eine dem Widerstande nach äquivalente Anzahl von Rheostatenwindungen dem schon vorhandenen Widerstand hinzufügen. Man erhält auf diese Weise den Widerstand des Drahtes zunächst in Rheostatenwindungen ausgedrückt.

Man übersieht leicht, daß diese Methode im Wesentlichen auf die Anwendung des Wheatstone'schen Differenzialwiderstandsmessers herauskommt, welche jedoch den großen Vortheil hat, daß man dazu jedes gewöhnliche Galvananometer brauchen kann, während die Becquerel'sche Methode ein eigens construirtes Galvanometer erfordert.

Das Silber, welches Becquerel zu seinen Versuchen anwandte, war aus Chlorsilber reducirt, das Kupfer war elektrochemisch gefällt und geschmolzen.

Die Zahlen der letzten Columne sind aus Versuchen berechnet, welche Frick und ich gemeinschaftlich nach der Wheatstone'schen Methode anstellten. Das Kupfer war galvanisch niedergeschlagen.

Die meisten Versuche gaben für das Silber einen dem Kupfer sehr nahen Leitungswiderstand, während Rieß sowohl als schon früher Lenz ihn bedeutend geringer fanden; von einer Verunreinigung des Silbers kann dieser auffallende Unterschied nicht herrühren, denn eine solche würde den Leitungswiderstand vergrößern und nicht verkleinern.

Nach den Messungen von Lenz (P. A. XLIV. 345.) ist der Leitungswiderstand des

Antimons . .	11,23
Quecksilbers . .	21,45
Wismuths . .	38,47

130 **Abhängigkeit des Leitungswiderstandes der Metalle von der Temperatur.** Den Einfluß der Temperaturveränderung auf die Leitungsfähigkeit der Metalle hat Lenz untersucht. Er berichtet darüber in Poggendorff's Annalen Band XXXIV. Seite 418 und Band XLV. Seite 105. Dem letzteren Aufsatz entnehmen wir die folgende Zusammenstellung seiner Resultate.

	Leitungsfähigkeit für Elektricität bei		
	0	100°	200°
Silber	136,25	94,45	68,72
Kupfer	100,00	73,00	54,82
Gold	79,79	65,20	54,49
Zinn	30,84	20,44	14,78
Messing	29,33	24,78	21,45
Eisen	17,74	10,87	7,00
Blei	14,62	9,61	6,76
Platin	14,16	10,93	9,00.

Aus dieser Tabelle ersieht man sehr anschaulich, wie stark der Einfluß der Wärme auf die Leitungsfähigkeit der Metalle, und ferner, wie ungleich dieser Einfluß bei den verschiedenen Metallen ist. So haben z. B. bei 100° die letzten fünf Metalle ihre gegenseitige Stelle in der Ordnung der Leitungsfähigkeiten schon ganz geändert; das Blei ist das am schlechtesten leitende Metall geworden; das Platin ist sogar über das Eisen hinaufgerückt; das Messing leitet besser wie Zinn, welches bei 0° in dieser Hinsicht über ihm steht. Bei 200° ist die Reihenfolge zwar noch dieselbe geblieben wie bei 100°, indessen sind sich hier Kupfer und Gold fast ganz gleich geworden, so daß das Gold in noch höherer Temperatur besser leitend werden muß als Kupfer.

In Betreff der Art und Weise, wie Lenz zu obigen Zahlenwerthen gekommen ist, sind noch einige Bemerkungen zu machen. Der Strom, dessen er sich bediente, war ein magnetoelektrischer, in dessen Schließungsbogen ein Multiplicator abwechselnd mit und ohne den zu bestimmenden Draht eingeschaltet war. Dieser Draht war spiralförmig aufgewunden, jedoch so, daß sich die einzelnen Windungen nicht berührten, und in ein Oelbad gelegt, welches durch eine Weingeistlampe auf constanter Temperatur erhalten wurde. Die Leitungsfähigkeit des Drahtes wurde nun für eine

Reihe (meist 10 bis 15) verschiedener Temperaturen des Oelbades ermittelt und dann mittelst der verschiedenen zusammengehörigen Werthe der Leitungsfähigkeit g und der Temperatur t die wahrscheinlichsten Werthe der constanten Factoren der Gleichung

$$g = a + bt + ct^2$$

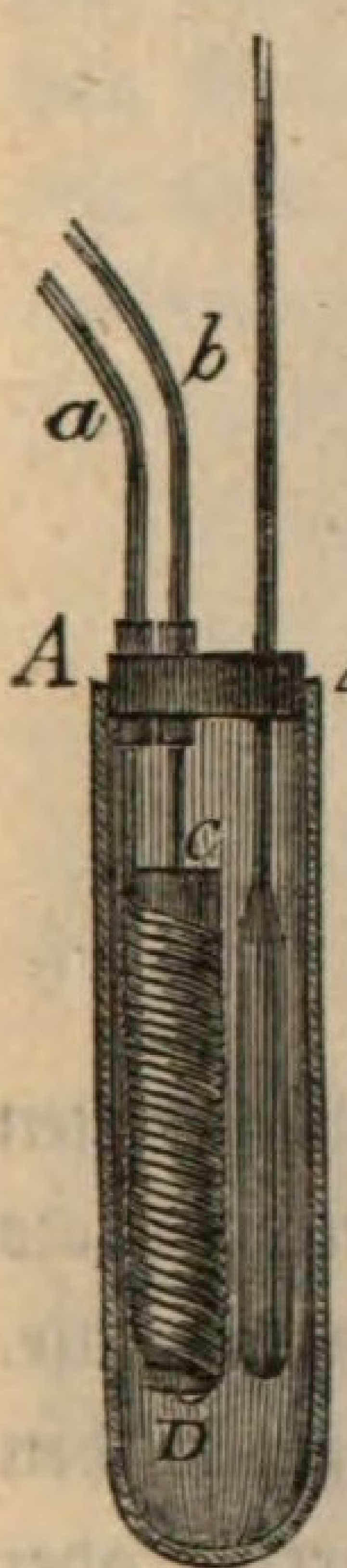
bestimmt. Es ergaben sich auf diese Weise zur Berechnung der Leitungsfähigkeit verschiedener Metalle folgende Gleichungen:

für Silber $g = 136,25 - 0,4984t + 0,000804t^2$
» Kupfer $g = 100,00 - 0,3137t + 0,000437t^2$
» Gold $g = 79,79 - 0,1703t + 0,000244t^2$
» Zinn $g = 30,84 - 0,1277t + 0,000273t^2$
» Messing $g = 29,33 - 0,0517t + 0,000061t^2$
» Eisen $g = 17,74 - 0,0837t + 0,000150t^2$
» Blei $g = 14,62 - 0,0608t + 0,000107t^2$
» Platin $g = 14,16 - 0,0389t + 0,000066t^2$.

Diese Formeln, nach welchen die obige Tabelle berechnet wurde, schließen sich den Beobachtungen sehr gut an.

Auch E. Becquerel hat das Verhältniß der Leitungsfähigkeit der Metalle zur Temperatur untersucht, und in dem schon oben Seite 306 citirten Aufsatz publicirt.

Fig. 107.



Die Art und Weise, wie Becquerel seine Drähte einer höhern Temperatur aussetzte, ist folgende: der Metalldraht, der zum Versuch dienen soll, wird auf einer Glasröhre CD, Fig. 107, von 1 Centimeter Durchmesser und 5 bis 6 Centimeter Länge, so aufgewunden, daß sich die einzelnen Windungen nicht berühren. Wenn der Draht mehr als eine Lage bildet, so wird diese mit Seide bedeckt und dann erst die Windungen der zweiten Lage aufgewickelt. Damit sich die Drahtwindungen nicht aufrollen können, werden sie mit Seide befestigt. Die beiden Enden des aufgewundenen Drahtes werden nun an die untern Enden der dicken Kupferdrahtstücke a und b befestigt, deren Widerstand man vernachlässigen kann. Eines der Stäbchen, nämlich a, ist an dem obern Ende der Glasröhre CD befestigt, das andere E geht im Innern dieser Röhre herab. Die so bewickelte Glasröhre wird nun in ein mit Oel gefülltes Proberöhrchen gesteckt. Die beiden Stäbchen a und b gehen durch zwei kleine Röhrchen hindurch, welche in dem Kork AA' stecken, durch welchen die Röhre CD in der Mitte des Oels gehalten wird. Ein Thermometer mit langem Gefäß dient zur Messung der Temperatur des Oels.

Das Oel wurde durch Eintauchen des Proberöhrchens in ein Wasserbad

erwärmt, Becquerel's Messungen gingen also nicht über den Siedpunkt des Wassers hinaus.

Becquerel zieht aus seinen Beobachtungen den Schluß, daß die Abnahme des Leitungsvermögens der Zunahme der Temperatur proportional sei!

Demnach muß der Leitungswiderstand eines Metalls für jeden Temperaturgrad um gleichviel wachsen; die folgende Tabelle giebt an, um den wie vielten Theil seines Leitungswiderstandes bei 0°, der Leitungswiderstand eines Metalles für jeden Temperaturgrad wächst.

Silber .	0,0040	Platin .	0,0019
Blei . .	0,0043	Zink . .	0,0037
Gold .	0,0034	Kadmium	0,0040
Eisen .	0,0047	Zinn . .	0,0062
Kupfer .	0,0041	Quecksilber	0,0010.

Danach berechnet Becquerel eine Tabelle für die Leitungsfähigkeit dieser Metalle bei 0 und 100°, in welcher aber die Leitungsfähigkeit des Silbers bei 0° gleich 100 gesetzt wird; um die Vergleichung mit den Lenz' schen Resultaten zu erleichtern, habe ich jedoch diese Tabelle für Kupfer = 100 umgerechnet.

	bei 0°	bei 100°	Diff.
Silber	109,3	77,9	31,4
Kupfer	100,0	70,9	29,1
Gold	71,0	52,6	18,4
Kadmium	26,8	19,1	7,7
Zink	26,2	19,2	7,0
Zinn	15,3	9,4	5,9
Eisen	13,5	9,2	4,3
Blei	9,0	6,3	2,7
Platin	8,6	7,3	1,3
Quecksilber	1,9	1,7	0,2.

Wie man sieht, ist nirgends einige Uebereinstimmung mit den Resultaten von Lenz, sowohl was die Leitungsfähigkeit der Metalle bei 0° betrifft, als auch in Ansehung der Abnahme derselben bei wachsender Temperatur. Wäre das von Becquerel aufgestellte Gesetz richtig, so müßten in den Gleichungen auf Seite 309 die Factoren von t^2 gleich Null, die Factoren t aber sollten, mit 100 multiplicirt, den Differenzen der letzten Tabelle gleich sein.

Zuletzt hat sich Müller in Halle mit diesem Gegenstand beschäftigt (P. A. LXXIII. 434.) in der Absicht, nachzuweisen, daß wohl eine Abhängigkeit bestehe zwischen der Zunahme des specifischen Leitungswiderstandes und der Zunahme der specifischen Wärme. Er legt hierbei, was den

Leitungswiderstand betrifft, die Messungen von Lenz zu Grunde; zur Bestätigung dieser Zahlen stellte er selbst eine Versuchsreihe mit Eisendraht an, deren Resultate gut zu den Lenz'schen passen. Die Zunahme, welche der Leitungswiderstand von Zink und Quecksilber bei wachsender Temperatur erleidet und welche Lenz nicht bestimmt hatte, fand Müller ziemlich nahe der Temperaturzunahme proportional.

Die specifische Wärme bei verschiedenen Temperaturen betreffend, so legt Müller die Bestimmungen von Dulong und Petit zu Grunde mit der Annahme, daß die Zunahme der specifischen Wärme dem Wachsthum der Temperaturzunahme proportional sei. — Ob das wahr ist oder nicht, wollen wir dahingestellt sein lassen, wäre es aber der Fall, so wäre gerade das Gegentheil von dem bewiesen, was Müller darthun will, denn nach den Bestimmungen von Lenz ist die Zunahme des Leitungswiderstandes der Temperaturzunahme nicht proportional; mit Becquerel's Messungen würde sich die Müller'sche Hypothese vielleicht eher vertragen.

Müller vergleicht nun den Wachsthum der specifischen Wärme von Quecksilber, Platin, Kupfer, Zink, Silber und Eisen mit der entsprechenden Zunahme des Leitungswiderstandes; die Harmonie, welche sich dabei herausstellt, ist nicht sonderlich; dies entscheidet aber, nach Müller's Meinung, nichts gegen seine Annahme der Abhängigkeit der Zunahme des Leitungswiderstandes von der specifischen Wärme, weil die Bestimmungen der specifischen Wärme für verschiedene Temperaturen bei weitem noch nicht den nöthigen Grad von Genauigkeit haben. — Giebt man diesen Mangel an Genauigkeit zu, wie man wohl nicht anders kann, so muß man auch zugeben, daß es bei unserer gegenwärtigen Kenntniß der Thatsachen wenigstens ein fruchtloses Bestreben ist, eine solche Beziehung nachweisen zu wollen.

Leitungswiderstand des menschlichen Körpers. Mit diesem Ge- 131
genstand haben sich Lenz und Ptschelnikoff beschäftigt; als Elektromotor diente ihnen eine magnetoelektrische Spirale. Nach ihren Bestimmungen ist der Widerstand des menschlichen Körpers, wenn man die ganze Hand in Wasser taucht, dem $1/_{100}$ Schwefelsäure zugesetzt ist, gleich dem von

91762

Metern Kupferdraht von 1^{mm} Durchmesser. Man kann dies jedenfalls nur als eine sehr grobe Annäherung betrachten und deshalb dürfte wohl auch die Beschreibung der Einzelnheiten der Versuche hier unnöthig sein.

Pouillet hat früher (P. A. XLII. 305) den Widerstand des Körpers zu

49082

Metern Normaldraht bestimmt. —

Wenn diese Zahlen auch sehr ungenau sein mögen, so zeigen sie uns doch, daß der Leitungswiderstand des Körpers sehr groß ist, und daß also die

Stromstärke derjenigen Ströme, welche in dem Körper die physiologischen Effecte hervorbringen, jedenfalls sehr gering ist.

Denken wir uns den menschlichen Körper in den Schließungsbogen einer Bunsen'schen Säule von 50 Bechern eingeschaltet, so ist die Stromstärke

$$\frac{50 \cdot 800}{49000} = \frac{40}{49} = 0{,}8,$$

wenn wir in runder Zahl die elektromotorische Kraft eines Bunsen'schen Elementes = 800 setzen, und den Leitungswiderstand der Säule (ungefähr 500) gegen den des eingeschalteten Körpers vernachlässigen, vorausgesetzt, daß wir für den Leitungswiderstand des Körpers die kleinere, Pouillet'sche Zahl setzen; diese Stromstärke entspricht einer Ablenkung von ungefähr $^3/_4$ Graden an unserer Tangentenbussole. Ein einziges Bunsen'sches Element, durch den Körper geschlossen, gäbe also nur eine Stromstärke $\frac{0{,}8}{50} = 0{,}016$.

Ob wohl die Stromstärke des Inductionsstroms, welcher, von einem einzigen Elemente herstammend, im menschlichen Körper so heftige Schläge hervorbringt, bedeutender ist?

132 **Galvanische Polarisation.** Ein 2, 3, 4mal so langes Drahtstück setzt dem galvanischen Strom auch einen 2, 3, 4mal so großen Leitungswiderstand entgegen; ist nun die elektromotorische Kraft der Kette und ihr Leitungswiderstand bekannt, so kann man für jede beliebige Drahteinschaltung nach dem Ohm'schen Gesetze die Stromstärke berechnen. Bezeichnen wir mit E die elektromotorische Kraft der Kette, mit R den wesentlichen Widerstand derselben, so ist, wenn r den Widerstand des Schließungsdrahtes bezeichnet, die Stromstärke

$$S \frac{E}{R + r},$$

und wenn man einen Draht von gleicher Dicke aber $n$facher Länge als Schließungsbogen anwendet, so ist die Stromstärke

$$S' = \frac{E}{R + nr}.$$

Bei Einschaltung von Flüssigkeiten ist es nicht so. Bezeichnen wir mit E und R wieder dieselben Dinge wie oben, mit w den Leitungswiderstand der Flüssigkeit in einem Voltameter, welches in dem Schließungsbogen eingeschaltet ist, so wäre

$$S = \frac{E}{R + w}$$

die Stromstärke, wenn das Ohm'sche Gesetz hier ganz in der Weise in

Anwendung käme, wie bei Metalldrähten. Bringt man die Voltameterplatten $n$mal so weit von einander, so müßte jetzt die Stromstärke

$$S' = \frac{E}{R + nw} \text{ seyn.}$$

Hat man die Stromstärke für eine gewisse Entfernung der Voltameterplatten ermittelt, so findet man sie aber für die doppelte, dreifache, vierfache Entfernung der Polplatten größer, als man nach unmittelbarer Anwendung der Ohm'schen Formel hätte erwarten sollen.

Dies ersieht man unter andern aus einer Reihe von Versuchen, welche Lenz anstellte, und die im XLIV. Bande von Poggendorff's Annalen Seite 349 mitgetheilt wurden. — Ohne näher auf die Beschreibung der Beobachtungsmethoden einzugehen, deren sich Lenz bediente, mag hier die Aufführung einiger hierher gehöriger Resultate genügen.

Bei metallischer Schließung seiner Kette (der Strom war ein magnetoelektrischer) erhielt Lenz eine Stromstärke = 0,648 (nach einer willkürlichen Einheit). — Als der Strom durch eine concentrirte Auflösung von Kupfervitriol ging, in welcher zwei Kupferplatten als Elektroden eingetaucht waren, ergab sich die Stromstärke gleich

0,425,

als die Elektroden 12,6 Millimeter von einander abstanden. — Bezeichnet man den gesammten Leitungswiderstand, den der Strom im ersten Falle zu überwinden hatte, mit 1, so ist

$$\frac{E}{1} = 0{,}648 \text{ also } E = 0{,}648,$$

und wenn man den Leitungswiderstand der eingeschalteten Flüssigkeitsschicht ganz in derselben Weise berechnet, wie dies bei Drähten geschieht,

$$\text{so erhält man } \frac{E}{1 + x} = 0{,}425,$$

$$\text{und daraus } x = 0{,}5.$$

Werden die Elektroden bei sonst ganz gleichen Umständen 8mal so weit von einander entfernt, so würde man, wenn ohne weiteres das Ohm'sche Gesetz hier angewendet werden könnte wie bei Drähten, erwarten können, daß die 8mal so dicke Flüssigkeitsschicht jetzt 8mal so großen Leitungswiderstand leistet, die Stromstärke müßte jetzt sein

$$\frac{E}{1 + 8x} = \frac{0{,}648}{1 + 8.0{,}5} = \frac{0{,}648}{5} = 0{,}129,$$

während der Versuch in diesem Falle die Stromstärke 0,199 ergab.

Bei 12facher Entfernung der Polplatten hätte man nach unmittelbarer Anwendung des Ohm'schen Gesetzes die Stromstärke 0,0648 erwarten sollen, der Versuch gab 0,120.

In etwas anderer Form ergiebt sich ein gleiches Resultat aus den Ver-

suchen Horsford's (P. A. LXX. 238). In den Schließungsbogen einer Bunsen'schen Säule wurde eine Tangentenbussole und ein Rheostat eingeschaltet; mittelst der letztern wurde die Ablenkung der Nadel auf 10^0 zurückgebracht; nun wurde außerdem noch eine 2,5 Cent. dicke Schicht von verdünnter Schwefelsäure, zwischen zwei Platinplatten befindlich, eingeschaltet; man mußte jetzt den Rheostaten um 32 Windungen zurückdrehen, oder mit andern Worten, man mußte 32 Windungen aus dem Schließungsbogen wegnehmen, um die Ablenkung wieder auf 10^0 zu bringen. Als nun die beiden Platinplatten in die doppelte Entfernung gebracht wurden, mußte man nicht etwa abermals 32 Windungen aus dem Schließungsbogen entfernen, um die Ablenkung auf 10^0 zu erhalten, sondern nur 20,5 Windungen; für jede folgende Vermehrung der Dicke der flüssigen Schicht um 2,5 Millimeter mußte dann immer wieder nur 20,5 Windungen aus dem Schließungsbogen entfernt werden, um die gleiche Ablenkung zu erhalten.

So viel ergab sich aus allen messenden Versuchen der Art, daß die Schwächung der Stromstärke, welche eintritt, wenn man eine Zersetzungszelle in den Schließungsbogen einer Kette einschaltet, nicht allein von dem eigentlichen Leitungswiderstand der Flüssigkeit herrühren kann, sondern daß noch eine weitere Ursache vermindernd auf die Stromstärke wirkt, die aber nicht mit der Dicke der Schicht zunimmt, sondern von derselben unabhängig erscheint.

Fechner schrieb dies einem sogenannten »Uebergangswiderstande« zu, welcher an der Berührungsfläche zwischen den Metallplatten und der Flüssigkeit wirken sollte, er stellte sich also vor, daß der Strom außer dem Widerstande der Flüssigkeit selbst noch einen besondern Widerstand an den Polpatten der Zersetzungszelle zu überwinden habe, den wir mit u bezeichnen wollen. Wenn nun bei einer bestimmten Dicke der flussigen Schicht die Stromstärke

$$S = \frac{E}{R + u + w} \quad \ldots . \; 1)$$

ist, so wird für eine $n$mal dickere Schicht die Stromstärke nach der Fechner'schen Ansicht

$$S' = \frac{E}{R + u + nw} \quad \ldots . \; 2)$$

seyn. Diese Fechner'sche Hypothese vom Uebergangswiderstand vertrat Anfangs auch Poggendorff. In dem schon oben citirten Aufsatze von Lenz hat dieser gezeigt, daß sich die Stärke des Stromes, welcher durch eine Flüssigkeit hindurchgeht, nach der Formel 2) berechnen läßt, und glaubt dadurch die Existenz des Uebergangswiderstandes bewiesen zu haben.

Ohm, Vorselmann de Heer und andere Physiker sprachen sich gegen diese Hypothese eines Uebergangswiderstandes aus, und schrieben die erwähnten Anomalien einer galvanischen Polarisation der Voltameterplatten zu, welche der elektromotorischen Kraft der Kette entgegenwirkt. Bezeichnet E die elektromotorische Kraft der Kette, so wäre dieser Ansicht zu Folge nach Einschaltung eines Voltameters die Stromstärke

$$S = \frac{E - e}{R + w} \quad \ldots . \; 3)$$

wenn e die elektromotorische Gegenkraft im Voltameter bezeichnet, während alle übrigen Buchstaben ihre frühere Bedeutung behalten.

Bei einer $n$fachen Entfernung der Voltameterplatten wäre dieser Ansicht nach die Stromstärke

$$S' = \frac{E - e}{R + nw} \quad \ldots . \; 4).$$

Im LIX. Bande von Poggendorff's Annalen Seite 229 bespricht Lenz diesen Gegenstand abermals. Eine neue Reihe von Versuchen über die Stromstärke bei eingeschalteten Voltametern vergleicht er sowohl mit der Formel 1) als auch mit 3), und findet, daß beide den Beobachtungen genügen, daß man sowohl durch die Hypothese eines Uebergangswiderstandes, als auch durch die Hypothese einer elektromotorischen Gegenkraft an den Elektroden die durch das Voltameter bewirkten Veränderungen der Stromstärke mit dem Ohm'schen Gesetz in Uebereinstimmung bringen kann.

Diese Untersuchung von Lenz läßt also die Frage unentschieden, während er sich dahin ausspricht, daß er die galvanische Polarisation für wahrscheinlicher halte als den Uebergangswiderstand.

In der Form, wie Lenz seine Versuche combinirt, konnte freilich keine Entscheidung erwartet werden, die bei einer etwas andern Betrachtungsweise des Gegenstandes nicht hätte fehlen können. Man braucht ganz einfach nur die elektromotorische Kraft einer Säule einmal bei metallischer Schließung und dann bei eingeschaltetem Voltameter zu bestimmen, um zu erfahren, ob im Voltameter eine elektromotorische Gegenkraft auftritt oder nicht.

Eine Versuchsreihe, die ich zu dem Zwecke anstellte, die Lösung der Frage recht anschaulich zu machen, gab folgende Resultate:

Sechs Zinkkohlenelemente wurden zur Säule verbunden. Die in den Schließungsbogen eingeschaltete Tangentenbussole gab

für die Einschaltung 0 . . . . 46° Ablenkung
» » » 49 Meter Normaldraht 30° »

und daraus ergiebt sich für die elektromotorische Kraft der Säule der Werth

$$E = 4366.$$

Ein ähnlicher Versuch, bei welchem ein Messingdraht eingeschaltet wurde, welche 29,2 Metern Normaldraht gleichzusetzen ist, gab

$$E = 4479,$$

also im Mittel

$$E = 4422.$$

Nun wurde ein Voltameter eingeschaltet. Ohne weitere Einschaltung war jetzt die Ablenkung

$$31{,}8^0.$$

Als noch ein Eisendraht eingeschaltet wurde, dessen Widerstand gleich dem von 49 Metern Normaldraht ist,

$$20{,}6^0,$$

und daraus

$$E' = 3320.$$

Der Versuch nach Vertauschung dieses Eisendrahtes mit obigem Messingdraht (29,2 M. Normaldraht) gab

$$E = 3520,$$

also im Mittel

$$E' = 3420.$$

Diese Versuche zeigen klar, daß durch Einschaltung des Voltameters die elektromotorische Kraft vermindert, und zwar bedeutend vermindert wird, denn es ist

$$e = E - E' = 1000.$$

Wenn also eine Zersetzungszelle in den Schließungsbogen eingeschaltet wird, so wirken zweierlei Ursachen vermindernd auf die Stromstärke; erstens ist die elektromotorische Kraft, welche der Strom in Bewegung setzt, vermindert, und zweitens ist der Leitungswiderstand vermehrt. Die Stromstärke ist in diesem Falle also nach der Formel

$$S = \frac{E - e}{R + w}$$

zu berechnen.

Daniell war meines Wissens der Erste, welcher die Existenz der galvanischen Polarisation lediglich durch die Anwendung des Ohmischen Gesetzes nachgewiesen hat (P. A. LX. 387. Phil. Transact. f. 1842 pt. II.), und zwar auf eine sehr sinnreiche Art, ohne ein anderes Meßinstrument in Anwendung zu bringen, als das Voltameter selbst.

In den Schließungsbogen einer Säule von 5 Daniell'schen Elementen wurde ein Voltameter eingeschaltet, wie Fig. 108 angedeutet ist; es lieferte 6 Kubikzoll Knallgas in 5 Minuten. Wäre keine elektromo-

motorische Gegenkraft vorhanden, so müßte dasselbe Voltameter in den

Fig. 108.

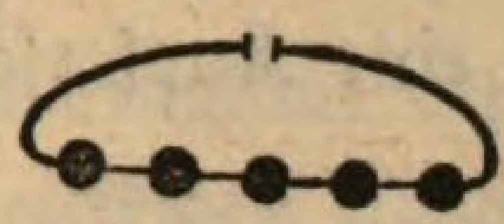
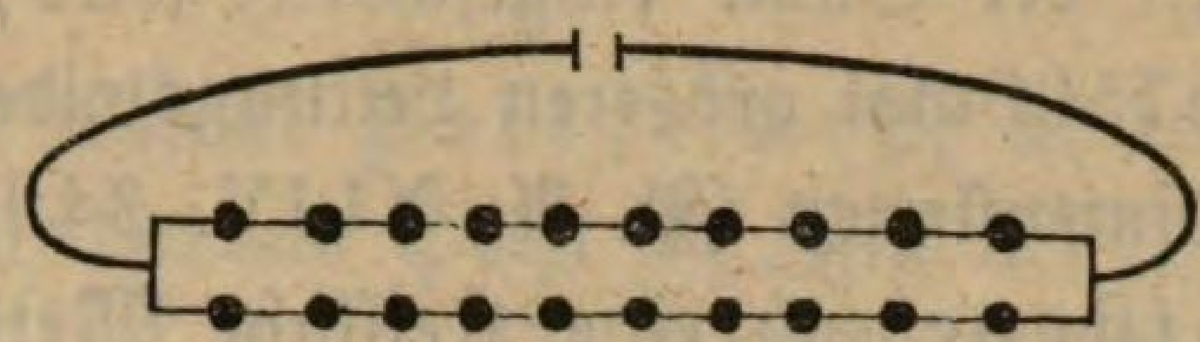


Fig. 109.



Schließungsbogen von 10 Doppelelementen gebracht, Fig. 109, die doppelte Gasmenge in derselben Zeit liefern, denn im ersten Falle wäre die Stromstärke

$$\frac{5E}{5R + r'}$$

im zweiten

$$\frac{10E}{{}^{10}/_{2}\, R + r} = \frac{10E}{5R + r'}$$

man müßte also im letztern Falle 12 Kubikzoll Gas in 5 Minuten erhalten; der Versuch gab aber nicht 12, sondern er lieferte 20 Kubikzoll Gas. Setzen wir aber die elektromotorische Gegenkraft gleich e, so haben wir im ersten Falle

$$\frac{5E - e}{5R + r} = 6,$$

im zweiten

$$\frac{10E - e}{5R + r} = 20,$$

also

$$\frac{10E - e}{5E - e} = {}^{20}/_{6},$$

und daraus

$$e = 2{,}857\ E.$$

Die Versuche mit dem Voltameter genügen also nicht allein, um die Existenz der elektromotorischen Gegenkraft darzuthun, sondern auch um die Größe derselben zu bestimmen.

Leitungswiderstand der Flüssigkeiten. Um den eigentlichen Lei- 133
tungswiderstand der Flüssigkeiten zu bestimmen, muß man durchaus den Einfluß der galvanischen Polarisation in Rechnung bringen; die Unkenntniß und Vernachlässigung derselben verursachte es, daß alle frühern Versuche, den specifischen Leitungswiderstand der Flüssigkeiten zu ermitteln, durchaus widersprechende Resultate lieferten.

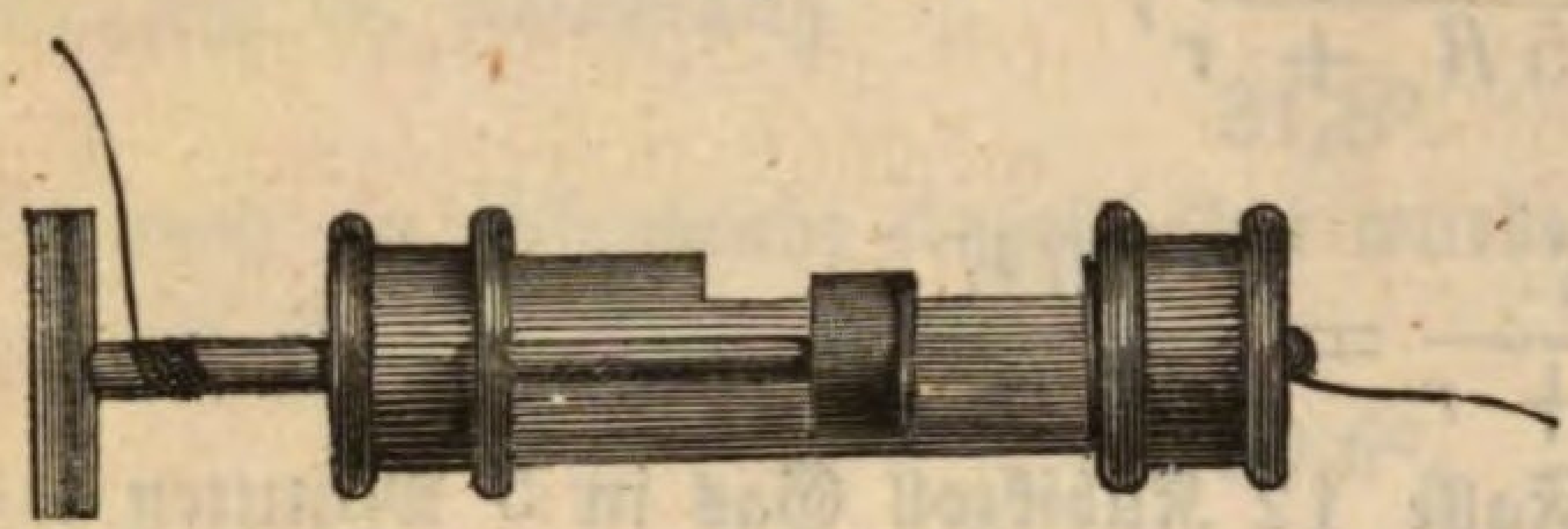
Lenz hat zuerst den specifischen Leitungswiderstand einer Lösung von Kupfervitriol rein von den Einflüssen der Polarisation zu ermitteln gesucht, und dafür den Werth

6857500

gefunden, d. h. eine Lösung von Kupfervitriol, welche in Form einer flüssigen Säule an beiden Enden von Metallplatten begränzt, in den Schließungsbogen der Säule eingeschaltet wird, leistet dem galvanischen Strom einen 6857500mal größeren Leitungswiderstand, als eine Kupfersäule von gleichen Dimensionen (P. A. XLIV. 349).

Wheatstone gab eine treffliche Methode an, um den Leitungswiderstand der Flüssigkeiten unabhängig von der Polarisation zu ermitteln. Eine Glasröhre von 2 Zoll Länge und ungefähr 1/2 Zoll innerm Durchmesser ist (Fig. 110) auf dem größeren Theil ihrer Länge oben offen, indem 1/4 des Umfangs weggeschliffen ist, so daß noch ein Segment von 270° übrig bleibt; an einem Ende der Röhre ist ein Metallstöpsel befestigt, der mit einer Platinplatte endigt; von der anderen Seite her kann ein beweglicher Stempel, welcher ebenfalls mit einer Platinplatte endigt, bis auf 1/4 Zoll der festen Platinplatte genähert und bis auf 5/4 Zoll von ihr entfernt werden.

Fig. 110.



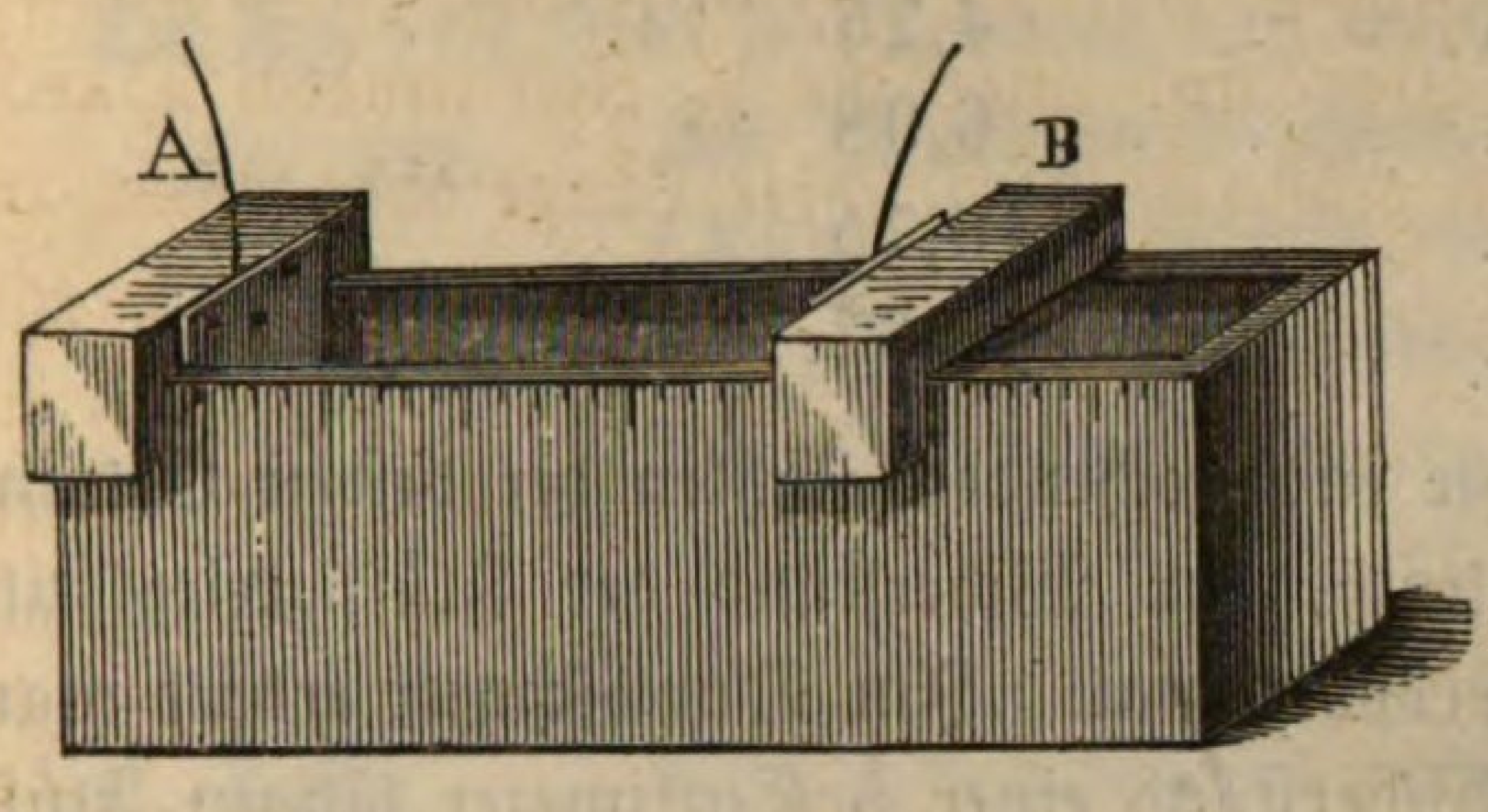
Um den Widerstand einer Flüssigkeit zu messen, wird nun diese Meßröhre mit dem Galvanometer und dem Rheostaten in den Schließungsbogen einer constanten Säule von etwa 3 Bechern eingeschaltet. Während die beiden Platinplatten der Röhre 1/4 Zoll weit von einander abstehen, wird der Zwischenraum mit der Flüssigkeit gefüllt, deren Widerstand gemessen werden soll, und dann mittelst des Rheostaten die Ablenkung der Nadel des Multiplicators auf einen bestimmten Punkt gebracht. Nun wird der Stempel um 1 Zoll zurückgezogen, und das ganze wieder mit Flüssigkeit gefüllt; natürlich ist jetzt die Nadel des Galvanometers zurückgegangen; um sie wieder auf ihren ursprünglichen Stand zu bringen, verringert man den Widerstand der Kette mittelst des Rheostaten und der Widerstandsrollen*), bis die Nadel wieder auf ihrem früheren Punkte steht. Die reducirte Länge des sonach aus der Kette gebrachten Drahtes ist das Maaß für den Widerstand von 1 Zoll der Flüssigkeit; der Einfluß der Polarisation ist durch die Art des Versuchs selbst schon eliminirt.

*) Wenn die nothwendigen Veränderungen des Leitungswiderstandes über die Gränzen des Rheostaten hinausgehen, so hilft man sich durch Einschalten oder Wegnehmen von Drahtrollen (dünnen Draht in die feinen Schraubengänge eines trocknen Holzcylinders aufgewunden), deren Leitungswiderstand bekannt ist. Durch Hinzufügen oder Wegnehmen solcher Widerstandsrollen werden dann die bedeutenderen, durch den Rheostaten die kleineren Veränderungen des Leitungswiderstandes bewerkstelligt.

Auf demselben Princip beruhen auch die Vorrichtungen, welche Horsford und Becquerel anwandten, um den Widerstand der Flüssigkeiten zu messen.

Zur Aufnahme der Flüssigkeit wandte Horsford (P. A. LXX. 238) einen viereckigen Trog von festem, dichtem Holze an (Fig. 111), welche 3 Decimeter lang und $7\frac{1}{2}$ Centimeter breit und tief war; im Innern war er mit Schelllackfirniß dick überzogen, um das Eindringen der Flüssigkeit zu verhindern oder doch möglichst zu verzögern. Auf diesem Troge liegen zwei Holzstücke, von denen das eine *A* festsitzt, während das andere *B* wie ein Schlitten hin und her geschoben werden kann. Diese Querstücke dienen, um die in die Flüssigkeit eintauchenden Platten zu halten und nach Belieben ihren Abstand zu ändern. Die Platten von gleicher Größe, wie der Querschnitt des Kastens, werden an Kupferstreifen festgeklemmt, welche ihrerseits wieder an die Querstücke angeschraubt sind.

Fig. 111.



Der mit der Flüssigkeit gefüllte Trog wird nun mit dem Rheostaten und der Tangentenbussole in den Schließungsbogen einer Säule von mehr oder weniger Bechern gebracht, je nachdem die Umstände eine größere oder geringere elektromotorische Kraft erfordern. Der Gang des Versuchs ist ähnlich wie ihn Wheatstone angiebt.

Horsford's Anordnung hat mehrere Vortheile. 1) Kann man Messungen auf eine größere Anzahl verschiedener Abstände der beiden Platten ausdehnen; 2) kann man leicht Platten verschiedener Metalle einsetzen, und 3) kann man Versuche bei verschiedener Anfüllungshöhe des Troges anstellen.

Zunächst hat Horsford gezeigt, daß Flüssigkeitssäulen in Beziehung auf Leitungswiderstand ganz dieselben Gesetze befolgen wie Metalldrähte, d. h. daß sich der Widerstand direct wie die Länge und umgekehrt wie der Querschnitt der flüssigen Schicht verhält.

Der Trog wurde mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt, die Platten in 2,5 Centimeter Entfernung gebracht, und der Gesammtwiderstand so regulirt, daß die Nadel der Bussole auf einem bestimmten Punkte (etwa 20°) stand.

Die folgende Tabelle giebt nun an, und zwar in der zweiten Columne, wieviel Rheostatenwindungen (von Neusilberdraht) man aus dem

Schließungsbogen herausnehmen mußte, um die Bussolennadel auf derselben Stelle zu erhalten, wenn der Abstand der Platten (bei unveränderter Anfüllungshöhe des Troges, nämlich 2,75 Centimeter) um die in der ersten Columne stehenden Werthe vergrößert wurden.

Centimeter	
2,5	2,11
5,0	4,25
7,5	6,98
12,5	10,75
25,0	20,67.

Wie man sieht, behalten die entsprechenden Zahlen der beiden Columnen sehr nahe dasselbe Verhältniß, der Widerstand der Flüssigkeitssäule ist also wirklich ihrer Länge proportional. Im Durchschnitt erhält man aus diesem Versuch für den Widerstand einer 5 Centimeter langen Flüssigkeitsschicht den Werth von 4,3 Rheostatenwindungen.

Als der Trog bis zu einer Höhe von 4,8 Centimetern angefüllt wurde, ergab sich aus einer gleichen Versuchsreihe für den Widerstand einer 5 Centimeter langen Flüssigkeitssäule (natürlich dieselbe verdünnte Säure) der Werth von 2,56 Rheostatenwindungen.

Da nun die Anfüllungshöhe 2,75 und 4,8 sich nahezu umgekehrt verhalten wie die entsprechenden Widerstände 4,3 und 2,56 (wir haben nämlich 2,75 : 4,8 = 2,56 : 4,46), so steht also der Leitungswiderstand der flüssigen Säule im umgekehrten Verhältnisse ihres Querschnitts.

Die folgende Tabelle enthält die von Horsford ermittelten Werthe für den specifischen Leitungswiderstand verschiedener Flüssigkeiten.

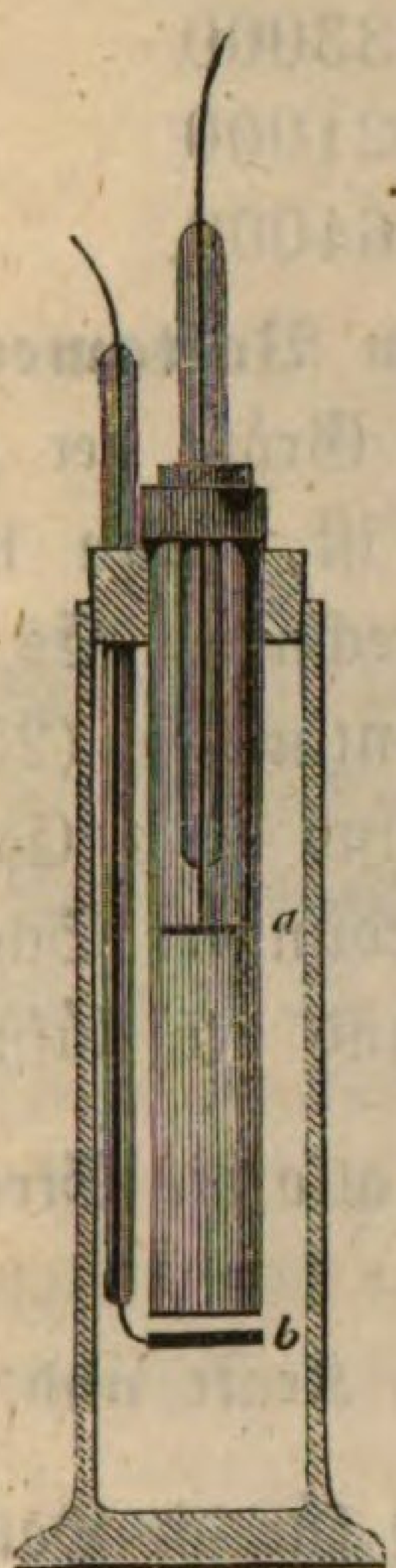
Namen und Beschaffenheit der Flüssigkeit.	Spec. Leitungswiderstand der des Silbers = 1.
Schwefelsäure von 1,10 spec. Gew.	938500
» » 1,15 » »	840500
» » 1,20 » »	696700
» » 1,24 » »	696700
» » 1,30 » »	696700
» » 1,4 » »	1023400
Chlornatriumlös. 27,6 Grm. in 500 C.C. Wasser	7157000
» 21,3 » » » » »	9542000
» 10,65 » » » » »	18460000
» 5,325 » » » » »	34110000
Chlorkaliumlös. 27,7 » » » » »	7168000
Kupfervitriollösung, wovon 100 C.C. 15,093 Grm. Salz enthalten	12058000

Namen und Beschaffenheit der Flüssigkeit.	Spec. Leitungswiderstand der des Silbers = 1.
Dieselbe Salzmenge im doppelten Volum Wasser	17490000
Zinkvitriollösung, wovon 100 C.C. 7,2587 Grm. Salz enthalten	23515000.

Die genannten Flüssigkeiten waren chemisch rein.

Die Fig. 112 stellt den Apparat dar, welchen Becquerel zur Messung des Leitungswiderstandes der Flüssigkeiten anwandte (Annales de chimie et de physique. 3. serie. XVII. 242). Die Einrichtung derselben bedarf wohl kaum einer weitern Erklärung. Die Metallplatte *a* läßt sich in einer Glasröhre auf- und abschieben, an deren unterm Ende sich die Metallplatte *b* befindet, es ist also die Flüssigkeitssäule zwischen *a* und *b*, welche der Strom zu durchlaufen hat. Damit keine Seitenströmung entsteht, sind die Zuleitungsdrähte der Platten *a* und *b* in Glasröhren eingekittet.

Fig. 112.



Auch hier bringt Becquerel wieder das Differenzial-Galvanometer in Anwendung; in jedem der beiden Schließungsbogen schaltet er einen Apparat, wie der Fig. 112, ein. Dadurch, daß er in dem einen die Platte *a* hebt oder senkt, bringt er es dahin, daß die Multiplicatornadel auf 0 zu stehen kommt.

Wird nun in dem einen Schließungsbogen eine Drahtspirale von bekanntem Leitungswiderstand eingeschaltet, so weicht die Nadel ab, und man muß die Flüssigkeitssäule desselben Schließungsbogens verkürzen, um die Nadel wieder auf 0 zurückzubringen. Auf diese Weise mittelt man die Höhe der Flüssigkeitssäule aus, welche gleichen Leitungswiderstand ausübt, wie die eingeschaltete Drahtspirale. — Es versteht sich von selbst, daß Vorrichtungen getroffen sind, um die Hebung und Senkung der Platte *a* genau zu messen; doch können wir hier auf die Beschreibung derselben nicht eingehen.

Nach dieser Methode fand Becquerel folgende Werthe für den specifischen Leitungswiderstand verschiedener Flüssigkeiten, den des Silbers gleich 1 gesetzt:

Gesättigte Lösung von Kupfervitriol	18450000
» » » Kochsalz	3173000
» » » salpetersaurem Kupfer .	11120000
» » » schwefelsaurem Zink .	17330000
Verdünnte Schwefelsäure (220 C.C. Wasser + 20 C.C. Schwefelsäure mit 1 Atom Wasser)	1128000
Käufliche Salpetersäure von 36° B.	1606000

In Betreff des Einflusses, welchen der Concentrationsgrad der Lösungen ausübt, fand **Becquerel** folgende Resultate:

Schwefelsaures Kupferoxyd.	Widerstand.
Gesättigte Lösung	18450000
Verdünnt zum 2fachen Volumen . . .	28820000
» » 4fachen Volumen . . .	48080000
Kochsalz.	
Gesättigte Lösung	3173000
Verdünnt zum 2fachen Volumen . . .	4333000
» » 3fachen Volumen . . .	5721000
» » 4fachen Volumen . . .	7864000.

132 **Berechnung der Stromstärke bei eingeschaltetem Voltameter.** Nachdem nun der Widerstand der Flüssigkeiten und die Größe der galvanischen Polarisation (wenigstens annähernd) bekannt ist, kann man leicht für eine gegebene Combination die Stromstärke berechnen. Es sey z. B. ein Voltameter, dessen Platten 25 Quadrat-Centimeter (2500 Quadrat-Millimeter) Oberfläche (auf jeder Seite) haben und die 1 Centimeter (0,01 Meter) weit von einander abstehen, mit verdünnter Schwefelsäure von 1,4 spec. Gew. gefüllt, so ist der Widerstand der flüssigen Säule im Voltameter $1023400 \frac{0,01 \,.\, 0,785}{2500} = 32$, also die Stromstärke $\frac{E - 1000}{R + 32}$, wenn wir mit E die elektromotorische Kraft und mit R den gesammten Widerstand der Säule bezeichnen, und für die Polarisation den auf Seite 316 angegebenen Näherungswerth 1000 nehmen.

Wenn ein Voltameter in den Schließungsbogen einer Säule eingeschaltet ist, so gilt der Satz nicht mehr, daß man ein Maximum von Stromstärke erhält, wenn die gegebene Anzahl von Bechern so angeordnet wird, daß der Widerstand der Säule dem Widerstand des Schließungsbogens gleich ist, weil die Voraussetzung, von welcher man bei der Beweisführung auf Seite 290 ausging, daß nämlich bei verschiedenen Combinationen derselben Anzahl von Bechern die Widerstände sich dem Quadrat der elektromotorischen Kraft proportional ändern, wegen der Polarisation im Voltameter nicht mehr stattfindet. Das Maximum des Effectes findet sich nach der Seite derjenigen Combinationen verrückt, bei welchen mehr Becher hintereinander und weniger nebeneinander stehen.

Daß eine Verrückung des Maximums nach dieser Seite stattfinden muß, läßt sich leicht übersehen, wenn wir von einem speciellen Beispiel ausgehen. In die verschiedenen auf Seite 288 betrachteten Combinationen von 24 Bechern, und zwar von **Daniell**'schen Elementen von der

Art, wie sie auf Seite 256 betrachtet wurden ($E = 470$, $R = 22$), werde ein Draht eingeschaltet, dessen Leitungswiderstand gleich 32 ist, so erhalten wir für die verschiedenen Combinationen folgende Stromstärken:

$$\text{für } 1) \quad \frac{24 \,.\, 470}{24 \,.\, 22 + 32} = \frac{11280}{560} = 20,$$

$$2) \quad \frac{12 \,.\, 470}{6 \,.\, 22 + 32} = \frac{5640}{164} = 34,$$

$$3) \quad \frac{8 \,.\, 470}{2{,}7 \,.\, 22 + 32} = \frac{3760}{91} = 41,$$

$$4) \quad \frac{6 \,.\, 470}{1{,}5 \,.\, 22 + 32} = \frac{2820}{65} = 43,$$

$$5) \quad \frac{4 \,.\, 470}{0{,}7 \,.\, 22 + 32} = \frac{1880}{47} = 40,$$

$$6) \quad \frac{3 \,.\, 470}{0{,}4 \,.\, 22 + 32} = \frac{1410}{41} = 34.$$

Wir haben hier das Maximum der Stromstärke, 43, für den Fall, wo der Widerstand der Säule 1,5 . 22 = 33 fast ganz gleich ist dem des Schließungsbogens. Wird nun aber statt des Metalldrahtes, dessen Widerstand 32 ist, das oben betrachtete Voltameter von gleichem Widerstande eingeschaltet, so wird die Stromstärke geringer ausfallen müssen, weil der Zähler obiger Brüche überall noch um 1000 zu verkleinern ist, es ergeben sich demnach jetzt für die verschiedenen Combinationen folgende Stromstärken:

$$1) \quad \frac{11280}{560} - \frac{1000}{560} = 20 - 2 = 18,$$

$$2) \quad \frac{5640}{164} - \frac{1000}{164} = 34 - 6 = 28,$$

$$3) \quad \frac{3760}{91} - \frac{1000}{91} = 41 - 11 = 30,$$

$$4) \quad \frac{2820}{65} - \frac{1000}{65} = 43 - 15 = 28,$$

$$5) \quad \frac{1880}{47} - \frac{1000}{47} = 40 - 21 = 19,$$

$$6) \quad \frac{1410}{41} - \frac{1000}{41} = 34 - 24 = 10.$$

Es ist also in der That das Maximum des Effectes von der 4ten auf die 3te Combination gerückt.

Wir ersehen aus dieser Zusammenstellung, daß unter den hier betrachteten Verhältnissen die Schwächung der Stromstärke durch die Polarisation für diejenigen Combinationen geringer wird, für welche der Gesammtwider-

stand größer ist, und dadurch erklärt sich denn auch die Verrückung des Maximums nach dieser Seite.

Wir haben hier angenommen, daß die Größe der Polarisation stets dieselbe bleibt, was freilich nicht ganz der Fall ist, wie wir später sehen werden, doch wird dadurch das wesentliche Resultat dieser Betrachtungen nicht geändert.

133 **Verminderung des Leitungswiderstandes der Flüssigkeiten durch die Wärme.** Während der Leitungswiderstand der Metalle durch die Wärme vergrößert wird, wird er umgekehrt bei den Flüssigkeiten bedeutend vermindert. Die ersten Messungen darüber hat Becquerel angestellt (Annales de Chimie et de Physique. 3. Serie. XVII. 285). Er wandte die oben Seite 321 beschriebene Beobachtungsmethode an. Das eine der beiden Flüssigkeitsbehälter, Fig. 112, wurde durch das Wasserbad erwärmt, bis die Temperatur fest schien; während der kurzen Dauer des Versuchs kann man sie dann in der That als constant annehmen.

Bei einer Temperatur von 14,4^0 fand Becquerel den Widerstand einer gesättigten Lösung von Kupfervitriol, deren Höhe 3,88 war, gleich dem Widerstande eines bestimmten Platindrahtes. Bei einer Temperatur von 56^0 aber ergab sich der Widerstand desselben Drahtes gleich dem einer Flüssigkeitssäule von der Höhe 8,50.

Da eine Temperaturerhöhung von 56 — 14,4^0, also von 41,6^0 nöthig ist, um die Leitungsfähigkeit der gesättigten Lösung des Kupfervitriols im Verhältniß von 3,88 zu 8,5 zu vermehren, so ist eine Temperaturerhöhung von 35^0 nöthig, um die Leitungsfähigkeit dieser Flüssigkeit zu verdoppeln, wenn man annimmt, daß die Veränderungen der Leitungsfähigkeit denen der Temperatur proportional sind. Bei einer Temperaturerhöhung von 1^0 wird demnach die Leitungsfähigkeit unserer Lösung um $^1/_{35}$ = 0,0286 ihres Werthes bei 14,4^0 vermehrt.

Auf dieselbe Weise fand Becquerel, daß für eine Temperaturerhöhung von 1^0 die Leitungsfähigkeit

einer verdünnten Lösung von Zinkvitriol um . . . 0,0223,
der käuflichen Salpetersäure um 0,0263,

ihres ursprünglichen Werthes erhöht wird.

Hankel hat eine ausgedehntere Versuchsreihe über diesen Gegenstand bekannt gemacht (P. A. LXIX. 255.). Er fand den

Leitungswiderstand einer concentrirten Kupfervitriollösung (A) vom spec. Gew. 1,17 bei

der Temperatur:	
0^0	11,26
11,9	7,33
31,0	4,70
66,4	3,12.

Leitungswiderstand von 108,7 Theilen der vorigen Lösung (*A*) mit 185 Theilen Wasser bei

der Temperatur:	
0°	22,87
11	15,16
25	10,5
67,4	7,1.

Leitungswiderstand einer concentrirten Lösung von salpetersaurem Kupferoxyd bei

der Temperatur:	
0°	4,89
11,5	3,27
25	2,18
67,2	1,64.

Leitungswiderstand einer concentrirten Lösung (*B*) von Zinkvitriol bei

der Temperatur:	
0°	13,05
9,8	8,62
27,4	4,55
67,4	2,29.

Leitungswiderstand einer Mischung aus 71 Theilen der Lösung *B* und 116 Theilen Wasser bei

der Temperatur:	
0°	13,00
11,1	8,82
28,8	5,57
65,1	3,51.

Die Einheit, nach welcher hier die Leitungswiderstände ausgedrückt sind, ist eine willkürliche.

Die Art und Weise, wie der zu dieser Versuchsreihe angewandte Flüssigkeitsbehälter construirt war, ist mir aus Hankel's Beschreibung nicht klar geworden.

Betrachten wir nun Hankel's Resultate, so finden wir, daß die Abnahme des Leitungswiderstandes keineswegs der Zunahme der Temperatur proportional ist, wie Becquerel annahm.

Es entspricht für die concentrirte Lösung des Kupfervitriols im Durchschnitt einer Temperaturerhöhung von 1°:

zwischen den Temperaturgränzen		eine Abnahme des Leitungswiderstandes um
0 und 12°	. . . .	0,327
12 » 31	. . . .	0,138
31 » 66,4	. . . .	0,044.

Für einen bestimmten Temperaturunterschied ist also die entspechende Veränderung in dem Leitungswiderstand der Flüssigkeiten um so größer je niedriger die Temperatur ist.

134 **Die galvanische Polarisation ändert sich mit der Größe der Stomstärke.** Mehrere Physiker, unter andern auch Lenz (P. A. LIX. 234.), haben die Behauptung ausgesprochen, daß die elektomotorische Gegenkraft eines Voltameters von der Stromstärke unabhängig sey.

In dem oben erwähnten Aufsatz von Daniell (P. A. LX. 387.) wird diese Meinung ebenfalls vertreten, und es wird dort versucht, sie durch eine Reihe von Messungen mit dem Voltameter zu begründen; diese Messungen dürften jedoch für diesen Zweck wohl nicht scharf genug sein. Auch Wheatstone theilt diese Meinung, und ist dadurch zu einem weitern falschen Schluß verleitet worden. Er bestimmte nämlich für eine Kette von drei Daniell'schen Bechern die elektromotorische Kraft, aldann die elektromotorische Gegenkraft in einem Voltameter, welches in den Schließungsbogen jener Kette eingeschaltet wurde. Er fand

$$E = 90$$
$$e = 69.$$

Als Säulen von 4,5 und 6 Elementen angewandt wurden, ergaben sich fast genau dieselben Werthe für e, und daraus schloß Wheatstone, daß die elektromotorische Gegenkraft als constant betrachtet werden könne. E ist hier die elektromotorische Kraft von drei zur Säule combinirten Bechern, folglich ist die elektromotorische Kraft eines Bechers $\frac{E}{3} = 30$, ein Werth, welcher kleiner ist als e. Wheatstone meint nun darin den Erklärungsgrund für die Erscheinung zu finden, daß ein einzelnes Element in einem Voltameter keine Wasserzersetzung hervorbringen kann.

Dies ist aber irrig. Die elektromotorische Gegenkraft kann nie stärker werden als die Ursache, welche sie hervorruft, und man muß deshalb annehmen, daß die elektromotorische Gegenkraft von der Stromstärke abhängig ist. Dann aber kann der Strom eines einzelnen Elementes allerdings eine Wasserzersetzung hervorbringen, wenn sie gleich meistens sehr gering ist. Als z. B. in den Schließungsbogen eines Daniell'schen Elementes ein Voltameter eingeschaltet wurde, dessen Platten ungefähr je 2 Quadratzoll groß waren, erhielt ich eine sehr merkliche Gasentwickelung.

Daß die elektromotorische Gegenkraft im Voltameter wirklich von der Stromstärke abhängt, zeigt sich sehr auffallend an einer Versuchsreihe, welche ich

zu diesem Zweck anstellte. Wie bereits oben angeführt wurde, fand ich die elektromotorische Kraft einer Säule von 6 Zinkkohlenelementen

$$E = 4422,$$

und die elektromotorische Gegenkraft

$$e = 1000.$$

Die elektromotorische Kraft jedes einzelnen Elementes ist $^{4422}/_{6}$ = 747, also allerdings kleiner als die elektromotorische Gegenkraft im Voltameter.

Es wurde nun die elektromotorische Kraft einer Säule von vier solchen Zinkkohlenelementen bestimmt; es ergab sich

$$E = 3124.$$

Nach Einschaltung des Voltameters ergab sich für die elektromotorische Kraft nur noch

$$E' = 2427,$$

es ist also hier

$$e = E - E' = 700.$$

Hier, bei einem schwächeren Strom ergiebt sich also die elektromotorische Gegenkraft schon merklich kleiner, ja sie ist in diesem Falle schon kleiner als die elektromotorische Kraft eines Elementes.

Für eine Säule von zwei Elementen ergab sich

$$E = 1604.$$

Nach Einschaltung des Voltameters

$$E' = 984,$$

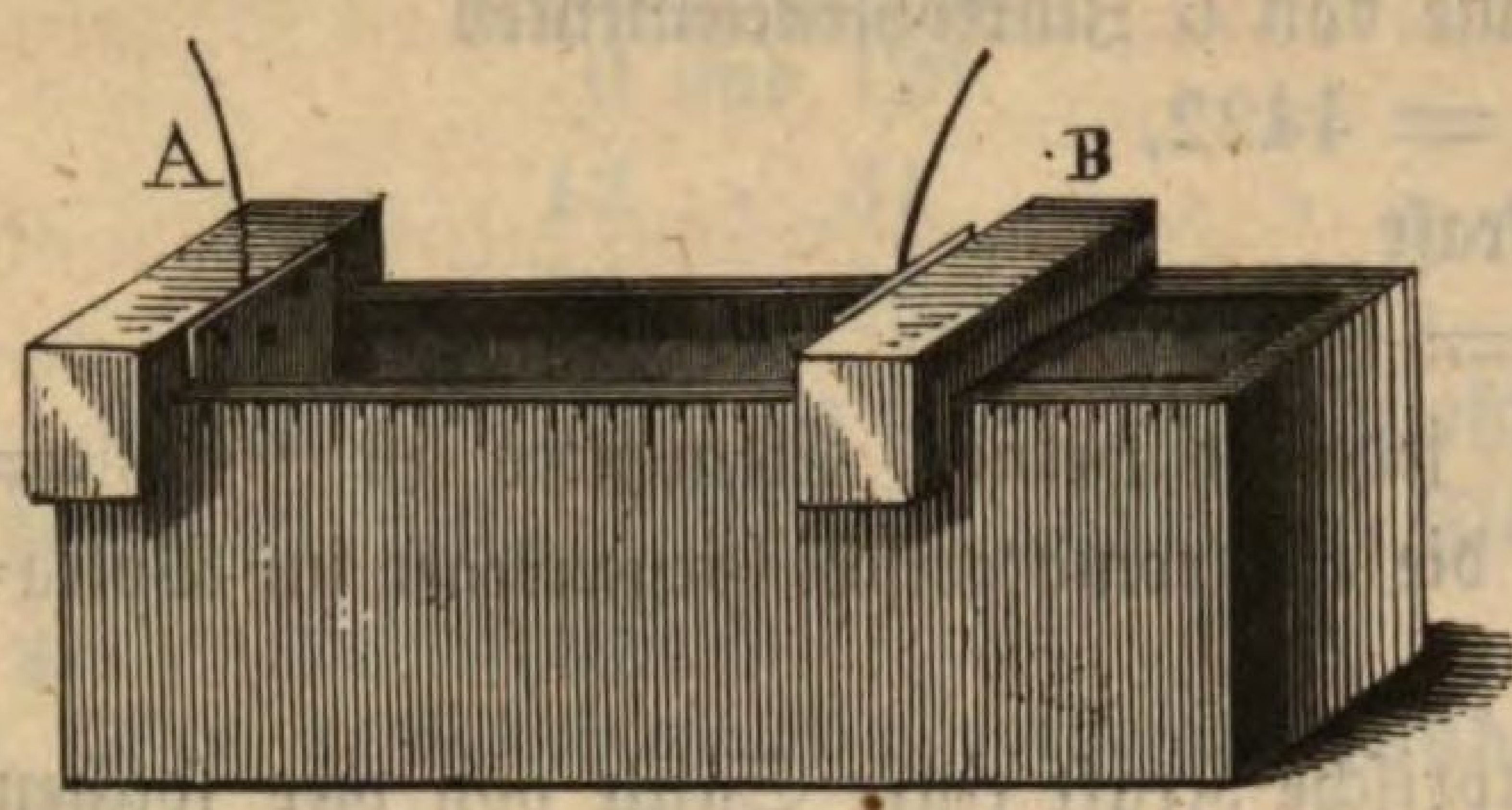
also

$$e = E - E' = 620.$$

Die eben mitgetheilten Zahlen machen durchaus keinen Anspruch auf große Genauigkeit, aber das ist durch sie unzweifelhaft dargethan, daß, wie sich auch voraussehen ließ, die elektromotorische Gegenkraft mit abnehmender Stromstärke ebenfalls geringer wird. Die elektromotorische Gegenkraft ist demnach eine Function der Stromstärke, welches aber die Form dieser Function ist, muß erst noch durch genauere Versuche ermittelt werden.

Daß die Größe der elektromotorischen Gegenkraft von der Stromstärke abhängig ist, hat zuerst Poggendorff außer Zweifel gestellt. (P. A. LXI. 613). Auch Buff (P. A. LXXIII. 497) fand die elektromotorische Gegenkraft des Voltameters bedeutender bei dem Strom von 3, als bei dem von nur 2 Zinkkohlenelementen; ferner fand er die Größe der Polarisation durch Einschaltung größerer Drahtlängen in den Schließungsbogen vermindert.

Fig. 113.



Für den Fall, daß die Elektroden den ganzen Querschnitt eines Troges ausfüllen, wie Fig. 113, zeigt sich auch nach Buff die Polarisation etwas größer, wenn die Zerlegungszelle weniger angefüllt ist. Wenn die Elektroden frei in die ringsum sie umgebende Flüssigkeit hineinragen, ist die Größe der Elektroden ohne Einfluß auf die Größe der Polarisation.

135 **Numerische Bestimmung der Polarisation.** Lenz und Saweljev haben eine große Reihe von Versuchen zur Bestimmung der galvanischen Polarisation in verschiedenen Fällen angestellt (Bull. de la classe phys. math. de l'acad. d. scienc. de St. Petersb. T. V. p. 1. P. A. LXVII. 497). Das Verfahren, welches sie anwandten, um die Größe der Polarisation in einer Zersetzungszelle zu bestimmen, war das, daß sie nach der Wheatstone'schen Methode (Seite 267) die elektromotorische Kraft einer Säule einmal bei metallischer Schließung und dann nach Einschaltung der Zersetzungszelle bestimmten. Die Differenz beider Zahlen giebt die Größe der durch die Polarisation in der Zersetzungszelle hervorgerufenen elektromotorischen Gegenkraft an.

Folgendes Beispiel mag die Art der Beobachtung erläutern.

Um die Ablenkung der Bussolennadel von 20° auf 10° herabzubringen, mußte man einschalten

bei metallischer Schließung	19,91 Rheost. Wind
als in den Schließungsbogen eine Zersetzungszelle eingeschaltet wurde, gebildet durch 2 Platinplatt. in Salpeters. tauchend	17,37 »
Palarisation der Zersetzungzelle	2,54.

Nach dieser Methode ergaben sich folgende Werthe für die galvanische Polarisation verschiedener Zersetzungszellen:

Kupferplatten in Kupfervitriol	0,07
Amalgamirte Zinkplatten in Salpetersäure .	0,03
Kupferplatten in Salpetersäure	0,01.

Diese Versuche beweisen, daß die Polarisation verschwindet, wenn die Ausscheidung von Gasen an den Elektroden aufhört; in allen drei Fällen tritt an der positiven Elektrode kein Sauerstoff auf, weil er das Metall sogleich bei seiner Ausscheidung aus den Wasser oxydirt; die Ausscheidung von Wasserstoffgas an den negativen Elektroden ist aber im ersten Fall dadurch verhindert, daß der nascirende Wasserstoff dem Kupferoxyd seinen

Sauerstoff entzieht und Kupfer metallisch niederschlägt; in den beiden andern Fällen dadurch, daß der nascirende Wasserstoff sogleich durch die Salpetersäure oxydirt wird.

Hier also, wo sich die Elektroden nicht mit Gashüllen bekleiden können, findet keine Polarisation Statt; die geringen Zahlenwerthe, welche wir oben angegeben finden, rühren wohl nicht von einer Polarisation der Elektroden, sondern daher, daß sie im Lauf des Versuchs nicht gleichartig bleiben, indem die eine Platte angefressen wird, die andere nicht, und dies veranlaßt, daß das Plattenpaar an und für sich schon eine geringe elektromotorische Kraft hat.

Auch Buff fand die Polarisation für Kupferplatten in Kupfervitriol und für Zinkplatten in Zinkvitriol verschwindend klein. (P. A. LXXIII. 497.)

Lenz und Saweljev fanden nun ferner für die Polarisation von

Platinplatten in Salpetersäure	2,48
Platinplatten in Schwefelsäure *)	5,46
Amalgamirte Zinkplatten in Schwefelsäure . .	1,00
Kupferplatten in Schwefelsäure	2,15
Zinnelektroden in Schwefelsäure	1,45
Eisenelektroden in Schwefelsäure	0,33
Graphit in concentrirter Salpetersäure . .	1,26.

Die hier angegebenen Zahlenwerthe sind meist das Mittel aus mehreren Versuchen.

In dem ersten Falle, Platinplatten in Salpetersäure, findet keine Wasserstoffablagerung an der negativen Elektrode Statt, die Polarisation im Werth 2,48 ist also lediglich der Polarisation an der positiven Elektrode, also derjenigen zuzuschreiben, an welcher das Sauerstoffgas auftritt; 2,48 ist demnach die Größe der Polarisation, welche eine Platinplatte durch Sauerstoff erfährt.

Im zweiten Fall, Platinplatten in Schwefelsäure, findet eine Gasablagerung an beiden Elektroden Statt, der Werth 5,46 ist also die Summe der Polarisationen beider Platten; ist die Polarisation des Platins durch Sauerstoff 2,48, so bleibt demnach für die Polarisation des Platins durch Wasserstoff 5,46 — 2,48 = 2,98, also nahezu 3.

In den vier folgenden Fällen, Zink, Kupfer, Zinn und Eisen in Schwefelsäure, wird die positive Elektrode angegriffen, die entsprechenden Zahlenwerthe sind also die Werthe der Polarisation dieser Metalle durch Wasserstoff. Stellen wir diese Resultate zusammmen, so haben wir für die Polarisation von

*) Diese Säure bestand aus 6 Volumtheilen concentrirter Schwefelsäure auf 100 Theile Wasser.

Platin in Sauerstoff	2,48
Platin in Wasserstoff	3,00
Zink in Wasserstoff	1,00
Kupfer in Wasserstoff	2,15
Zinn in Wasserstoff	1,45
Eisen in Wasserstoff	0,33
Graphit oder Kohle in Sauerstoff .	1,25.

Setzt man in den Schließungsbogen einer Säule eine Schließungszelle, welche aus ungleichartigen Platten besteht, so wirkt diese selbst wieder elektromotorisch, und die Wirkung dieser elektromotorischen Kraft der Zersetzungszelle wird nach Umständen mit der Polarisation gleich oder entgegengesetzt gerichtet sein. Nehmen wir an, die elektromotorische Kraft der Zersetzungszelle wirke ebenso wie die Polarisation der elektromotorischen Kraft der Säule entgegen, so wird die Differenz D, welche die Messung der elektromotorischen Kraft der Säule ergiebt, je nachdem die Zersetzungszelle in den Schließungsbogen eingeschaltet ist oder nicht, die Summe der elektromotorischen Kraft der Zersetzungszelle und der Polarisation seyn, oder es ist

$$D = e + p,$$

wenn wir mit e die elektromotorische Kraft der Zesetzungszelle, mit p die in ihr auftretende Polarisation bezeichnen. Hat man nun für verschieden construirte Zersetzungszellen (etwa bestehend aus Platin in Salpetersäure, und Zink in Schwefelsäure, ferner Platin in Salpetersäure und Kupfer in Kalilösung) den Werth von D bestimmt, so kann man für diese Combination den Werth von e berechnen, wenn man die hierher gehörigen Werthe von p in Abzug bringt. Auf diese Weise ermittelten Lenz und Saweljev die elektromotorische Kraft folgender Combinationen:

Platin in Salpetersäure, combinirt mit

Platin in Salzsäure	— 0,26
Platin in Schwefelsäure	— 0,02
Platin in Salpetersäure	0,00
Graphit in Salpetersäure	0,01
Gold in Salpetersäure	0,06
Gold in Schwefelsäure	0,25
Quecksilber in Schwefelsäure	0,7
Quecksilber in salpetersaurem Quecksilberoxydul	0,79
Platin in Kalilösung	1,20
Reines Kupfer in Schwefelsäure . . .	1,39
Etwas oxydirtes Kupfer in Schwefelsäure	1,75
Kupfer in Kupfervitriol	2,00
Gold in Kalilösung	2,31

Zinn in Salzsäure	2,38
Eisen in Salzsäure	2,75
Graphit in Kalilösung	2,84
Eisen in Schwefelsäure	2,92
Zinn in Schwefelsäure	2,95
Kupfer in Kalilösung	3,10
Zinn in Kalilösung	3,94
Zink in verdünnter Salpetersäur	4,05
Zink in verdünnter Salzsäure	4,07
Zink in Schwefelsäure	4,17
Eisen in Kalilösung	4,65
Zink in Kalilösung	5,48.

Für Zink in Schwefelsäure und Kupfer in Kupfervitriol fanden die beiden Petersburger Physiker die elektromotorische Kraft 2,17. Dies giebt uns nun einen Anhaltspunkt, um die eben mitgetheilten Zahlenwerthe für Polarisation und elektromotorische Kraft auf unsere (chemische) Einheit zu reduciren. Wir haben nämlich für die elektromotorische Kraft eines Daniell'schen Elementes den Werth 470 (Seite 256) gefunden, wir müssen also die Zahlenwerthe, wie sie Lenz und Saweljev angeben, mit $\frac{470}{2,17} = 217$ multipliciren, um sie auf chemisches Maaß zu reduciren.

Für die elektromotorische Kraft eines Grove'schen Elementes (Platin in Salpetersäure, Zink in Schwefelsäure) fanden sie die elektromotorische Kraft 4,17, also nach chemischem Maaß 4,17 . 217 = 905.

Für die Polarisation verschiedener Metallplatten ergeben sich demnach, in chemischem Maaß ausgedrückt, folgende Werthe:

Platin in Sauerstoff	538
Platin in Wasserstoff	651
Zink in Wasserstoff	217
Kupfer in Wasserstoff	466
Zinn in Wasserstoff	314
Eisen in Wasserstoff	72
Kohle in Sauerstoff	271,

für die Gesammtpolarisation der beiden Platinelektroden in verdünnter Schwefelsäure

1185,

während ich für diesen Fall die Zahl

1000

gefunden habe. (Seite 316.)

Polarisation an platinirten Platinplatten. Poggendorff 136
machte zufällig die Beobachtung, daß in einem Element der Grove'schen

Gassäule, welches in den Schließungsbogen eines Grove'schen Elementes eingeschaltet wurde, eine unerwartet bedeutende Gasentwickelung stattfand, während ein einfaches Grove'sches Element, durch ein Voltameter mit blanken Platinplatten geschlossen, nur eine höchst unbedeutende Wasserzersetzung lieferte (P. A. LXX. 183.)

Um messende Vergleichungen anstellen zu können, construirte er ein Voltameter mit platinirten Platinplatten, welches er mit einem gewöhnlichen Voltameter verglich. Das Voltameter mit blanken Platten lieferte im Schließungsbogen eines Grove'schen Elementes in 30 Minuten

0,89 Kubikcentimeter Knallgas,

während das Voltameter mit platinirten Platten unter denselben Umständen

77,68 Kubikcentimeter Gas,

also fast 87mal so viel lieferte.

Dies kann nur daher rühren, daß die Polarisation an platinirten Platten bedeutend geringer ist als an blanken. Poggendorff hat dies durch directe Messungen bewiesen.

Die elektromotorische Kraft einer Säule von zwei Grove'schen Elementen ergab sich = 64; nach Einschaltung des Voltameters mit platinirten Platten war sie noch 31, es war mithin die Polarisation an den platinirten Platten

$$64 - 31 = 33.$$

Als an die Stelle des Voltameters mit platinirten Platten das mit blanken Platinplatten gesetzt wurde, ergab sich die elektromotorische Kraft der gesammten Kette gleich 22, also die Polarisation an den blanken Platinplatten

$$64 - 22 = 42.$$

Auf Seite 284 ist angeführt, daß die elektromotorische Kraft eines Grove'schen Elementes als Mittel aus den Beobachtungen verschiedener Physiker nach chemischem Maaß 777 sei; demnach ist die elektromotorische Kraft von zwei Elementen gleich 1554; auf chemisches Maaß reducirt, ist demnach der Werth der Polarisation der blanken Platten, welchen Poggendorff fand,

$$42 \,.\, \frac{1554}{64} = 1020,$$

was mit dem Werth der Polarisation, wie er oben auf Seite 316 angegeben ist, sehr nah übereinstimmmt.

Für platinirte Platten ist demnach die Polarisation nach chemischem Maaß

$$33 \, \frac{1554}{64} = 801.$$

Auch Poggendorff fand, wie bereits auf Seite 327 erwähnt wurde, daß die Stärke der Polarisation mit der Stromstärke abnimmt; als durch

Vergrößerung des außerwesentlichen Widerstandes die Stromstärke so geschwächt wurde, daß die Nadel der in den Schließungsbogen eingeschalteten Sinusbussole von 47° 49′ auf 5° 44′ zurückging, nahm die Polarisation im Voltameter von 42 bis 38, oder nach chemischem Maaß von 1020 bis 922 ab.

Nach Poggendorff's Versuchen ist bei platinirten Platten die Größe der Polarisation nur sehr wenig von den Veränderungen der Stromstärke abhängig, so daß man sie ohne merkliche Fehler als constant annehmen kann.

Auch Svanberg hat viele Versuche über galvanische Polarisation und zwar mit großer Sorgfalt und Genauigkeit angestellt. (P. A. LXXIII. 298.) Für die Polarisation, welche der Strom von vier Daniell'schen Elementen in einem Voltameter mit blanken Platinplatten hervorbringt, fand er, auf chemisches Maaß reducirt, den Werth

1072.

Svanberg machte die Bemerkung, daß die Polarisation im Voltameter allmälig wächst, und daß es einige Zeit dauert bis sie ihr Maximum erreicht. Um nun das Maximum der Polarisation richtig zu bestimmen, machte er seine Messungen erst, nachdem der Strom einige Stunden lang durch das Voltameter hindurchgegangen war.

Metallplatten mit rauhen Oberflächen ergaben nach seiner Messung eine geringere Polarisation als polirte, was wohl mit Poggendorff's Beobachtung in Zusammenhang steht, daß die Polarisation an platinirten Platinplatten geringer ist, als an blanken. Die Polarisation von Kupferplatten durch Wasserstoffgas fand Svanberg im Verhältniß von 12 zu 8 geringer, wenn diese Platten rauh gefeilt, oder noch besser durch galvanisch gefälltes Kupfer feinkörnig gemacht, als wenn sie polirt waren.

Buff's Untersuchungen über galvanische Polarisation. Einzelne Resultate der Untersuchungen, welche Buff über galvanische Polarisation anstellte, wurden bereits Oben erwähnt, wir müssen jedoch hier noch Einiges aus seiner Abhandlung hervorheben. (P. A. LXXIII. 497.) 137

Buff führt an, daß eine Ablenkung von 45° an seiner Tangentenbussole einer Wasserstoffentwickelung von 21,08 C.C. in der Minute entspreche (reducirt auf 0° Temperatur und 760^{mm} Druck?), was einer Knallgasentwickelung von 31,6 C.C. gleich ist; seine Stromstärken werden demnach auf chemisches Maaß reducirt, wenn man die Tangente des Ablenkungswinkels mit 31,6 multiplicirt.

Buff findet im Laufe dieser Untersuchung die elektromotorische Kraft eines Daniell'schen Elementes gleich 4,207; da bei zu Grundlegung unserer Einheiten die elektromotorische Kraft dieses Elementes 470 ist, so muß man also Buff's Angaben der elektromotorischen Kraft sowohl, als auch

seine Polarisationswerthe mit $\frac{470}{4,207} = 111$ multipliciren, um sie mit unsern vergleichbar zu machen. Buff's Vergleichung zwischen Stromstärke und Polarisationsgröße in einem Voltameter mit blanken Platinplatten gab (auf unsere Einheiten übertragen) folgende Resultate:

Stromstärke.	Polarisation.
43,7	1256
19,7	1165
11,5	1132
8,0	1118
4,4	1069.

Bei diesen Versuchen bildeten die Platinelektroden die gegenüberstehende Seite eines Troges; die vorstehenden Zahlen beziehen sich auf den Fall, daß der Trog bis zu einer Höhe von 45 Millimeter angefüllt war.

Bei einer Anfüllungshöhe von 10 Millimeter ergeben sich folgende zusammengehörige Werthe von Stromstärke und Polarisation:

Stromstärke.	Polarisation.
20,5	1199
11,5	1170.

Unter sonst gleichen Umständen ergab sich also die Polarisation etwas größer bei geringerer als bei größerer Anfüllungshöhe des Troges, wie es bereits auf Seite 328 angeführt wurde.

Buff bemerkt ebenfalls, daß der Eintritt des Maximums der Polarisation immer einige Zeit erfordere.

Für eine Zerlegungszelle, gebildet aus zwei Zinkplatten in einer Auflösung von Zinkvitriol stehend, fand Buff den Polarisationswerth

$$p = 0,85,$$

nach unsern Einheiten

$$p = 94.$$

An dieses Resultat schließt er folgende Betrachtungen an:

»Ich betrachte $p = 0,85$ als die elektrische Differenz des Zinks und »Wasserstoffs, oder doch als einen Näherungswerth derselben. Ebenso be»trachte ich den Polarisationswiderstand der Platinplatten in verdünnter »Schwefelsäure als einen Näherungswerth für die elektrische Differenz des »Sauerstoffs und Wasserstoffs. Denn durch die Wasserstoffschicht an der »negativen Platinplatte, so wie durch die Sauerstoffschicht an der positiven »Platinplatte wird dasselbe bewirkt, wie wenn nicht zwei Platinstreifen, son»dern ein Streifen festen Wasserstoffs und ein Streifen festen Sauerstoffs »in die Säure waren eingeführt worden. — — — Die bei unmittelbarer »Berührung von Wasserstoff und Sauerstoff geweckte elektromotorische »Thätigkeit, oder die elektrische Differenz beider Stoffe bezeichnet demnach

»die äußersten Gränzen des Widerstandes, der durch die Polarisation zweier »Metalle im Zersetzungsgefäße überhaupt entstehen kann. Man wird sich »dieser Gränze um so mehr nähern, je vollständiger die eingetauchten Plat»ten sich mit den Gasen zu bekleiden vermögen, und je vollständiger dadurch »die unmittelbare Berührung der metallischen mit den flüssigen Leitern ver»mieden wird.«

In derselben Abhandlung finden wir nun ferner mehrere Versuchsreihen, welche die Abwesenheit der Polarisation in allen Fällen darthun, in denen die Ablagerung der Gase an den Elektroden verhindert wird, was bereits Seite 329 erwähnt wurde.

Verminderung der Polarisation durch Erwärmung der Flüs- 138
sigkeit. In der Biblioth. univers. Febr. 1837 p. 388. beschreibt De la Rive folgenden Versuch. In den Schließungsbogen einer Säule von vier Elementen schaltete er außer einem Galvanometer eine Zersetzungszelle ein, welche aus zwei Platinplatten, in ein Glas mit Wasser getaucht, bestand; das Galvanometer zeigte eine Ablenkung von 12°. Nun brachte er unter die positive Polplatte, an welcher sich Sauerstoffgas entwickelte, eine starke Alkoholflamme, so daß diese Platte zu glühen anfing und der in die Flüssigkeit tauchende Theil durch Mittheilung hinlänglich erwärmt wurde, um diese zum Kochen zu bringen (wahrscheinlich war also die Platinplatte so ‾| umgebogen). Es war keine Veränderung in der Ablenkung bemerkbar; dasselbe geschah mit der negativen Platte, und nun stieg die Nadel auf 30°. Nach Wegnahme der Lampe sank die Ablenkung wieder auf 12°.

Als das Wasser durch verdünnte Schwefelsäure ersetzt wurde, war die ursprüngliche Ablenkung 45°, sie stieg durch Erwärmung der negativen Platte auf 80°, während die Erwärmung der positiven Platte abermals keinen Einfluß hatte.

De la Rive schließt daraus, daß die Wärme keinen Einfluß habe auf den Uebergang des elektrischen Stromes aus einem Metall in eine Flüssigkeit, daß sie aber den Uebergang desselben aus einer Flüssigkeit in ein Metall merklich befördere.

Gegen diese sonderbare Meinung tritt nun Vorsselman de Heer auf. Er schreibt die Wirkung nicht direct der Wärme, sondern der durch das Kochen der Flüssigkeit hervorgebrachten Bewegung derselben zu, durch welche die polarisirenden Gase von den Elektroden mit fortgespült werden. Er unterstützt seine Ansicht durch die Thatsache, daß man auch ohne Wärme dieselbe Wirkung hervorbringen kann, wenn man die Platte nur ein wenig in der Flüssigkeit erschüttert, oder auch die Flüssigkeit in der Nähe der Platten durch einen Glasstab in Bewegung bringt.

Er nahm eine Volta'sche Säule von fünf Paaren mit reinem Wasser geladen. Zwei Platindrähte, die Pole der Säule bildend, tauchten in

ein Glas mit destillirtem Wasser; das in die Kette gebrachte Galvanometer zeigte 45°, doch nahm diese Ablenkung in Folge der wachsenden Polarisation rasch ab, sie stieg aber stets wieder, wenn man den negativen Draht erschütterte; sie war

nach 15 Min.	34°	—	nach Erschütterung des negativen Drahtes	40°,
» 30 »	16°	—	» » » » »	38°,
» 60 »	4°	—	» » » » »	32°.

Die Erschütterung des positiven Drahtes hatte keinen Einfluß.

Aehnliche, wenn auch weniger auffallende Resultate wurden mit Kupferdrähten erhalten.

Gewiß ist die Erklärung Vorsselman's die richtige, doch läßt er den Umstand unerklärt, warum die Erwärmung oder Erschütterung des positiven Poldrahtes ohne Einfluß ist. Sollte wohl der Sauerstoff fester an den Platinplatten haften als der Wasserstoff?

Nach einer Notiz im »Jahresbericht über die Fortschritte der Chemie, Physik u. s. w. von Liebig und Kopp. Gießen 1849, Seite 297.« hat Becker in Gießen die Abnahme der Polarisation bei steigender Temperatur der Zersetzungsflüssigkeit genauer untersucht; doch ist seine Arbeit noch nicht veröffentlicht.

139 **Ursache der galvanischen Polarisation.** Einer der ersten, welche gegen die Hypothese eines Uebergangswiderstandes auftraten und dagegen die Existenz einer elektromotorischen Gegenkraft im Voltameter zu begründen suchten, war Schönbein. Während alle bisher betrachteten Untersuchungen über diesen Gegenstand sich auf die Beziehungen der Stromleitung durch Elektrolyte zu dem Ohm'schen Gesetze stützen, während man auf diesem Wege indirect zu der Ansicht geführt wurde, daß die galvanische Polarisation den die Elektroden bedeckenden Gasschichten zuzuschreiben sey, faßt Schönbein den Gegenstand von einer ganz andern Seite auf, und sucht direct den polarisirenden Einfluß der Gase auf Metallplatten nachzuweisen.

Die wichtigsten hierher gehörigen Aufsätze Schönbein's sind folgende:

Beobachtungen über die elektrische Polarisation fester und flüssiger Leiter (P. A. XLVI. 109.).

Neue Beobachtungen über Volta'sche Polarisation fester und flüssiger Leiter (P. A. XLVII. 101.).

Ueber Volta'sche Polarisation fester und flüssiger Körper (P. A. LVI. 135.).

Ich will in dem Folgenden die wesentlichsten Resultate der Schönbein'schen Untersuchungen zusammenstellen, ohne gerade über den Inhalt dieser Abhandlungen im Einzelnen zu berichten.

Der auf Seite 199 des 2ten Bandes meiner Physik (3te Auflage) an-

geführte Versuch, daß wenn man durch ein Voltameter den Strom einer Kette hat gehen lassen, und man dann rasch nach Unterbrechung des Stromes jede der beiden Voltameterplatten mit einem Drahtende eines Multiplicators in Berührung bringt, daß alsdann dieser Multiplicator einen Strom anzeigt, welcher das Voltameter in entgegengesetzter Richtung durchläuft, wie der ursprüngliche Strom der Kette; dieser Versuch, welcher bereits 1827 von de la Rive angestellt wurde, beweist nur, daß in dem Voltameter durch den primären Strom eine elektromotorische Gegenkraft erzeugt wird; er giebt uns aber keinen Aufschluß über Grund und Ursache derselben.

Becquerel stellt nun die Behauptung auf, daß nur in dem Falle der fragliche secundäre Strom eintrete, wo die Poldrähte in eine salinische Flüssigkeit eintauchen. Unter diesen Umständen, sagt Becquerel, zersetze sich das Salz, die Basis häufe sich um die negative, die Säure um die positive Elektrode an, und bringe man die Drähte nach der Abtrennung von der Säule in leitende Verbindung, so entstehe ein Strom in Folge der Wiederverbindung von Säure und Basis.

Schönbein zeigte nun, daß zur Hervorbringung des secundären Stromes keineswegs salinische Flüssigkeiten nothwendig sind, daß der Versuch mit reinem durch reine Schwefelsäure nur ganz schwach gesäuertem Wasser vollkommen gelingt, selbst wenn die Platinelektroden nur momentan mit der Säule communicirten.

Diese secundären Ströme sind keineswegs von nur augenblicklicher Dauer, sie währen je nach Umständen längere oder kürzere Zeit. In einem Fall, in welchem die ursprüngliche Ablenkung der Galvanometernadel durch den secundären Strom 80° betrug, dauerte es 4 Minuten, ehe derselbe ganz verschwand; bei einer anfänglichen Ablenkung von 160° dauerte es 30 Minuten.

Schönbein brachte den secundären Strom mit Elektroden von Gold eben so gut hervor, wie mit solchen von Platin. Wurden Eisendrähte statt Platin und Kalilösung statt Schwefelsäure angewendet, so zeigte sich der secundäre Strom gleichfalls; Versuche mit versilberten Kupferdrähten, Zink und andern Metallen gaben gleiche Resultate, so daß es in hohem Grade wahrscheinlich ist, daß alle metallischen Leiter die Fähigkeit besitzen, elektrisch polarisirt zu werden.

In dem zweiten der oben erwähnten Aufsätze (P. A. XLVII. 101.) gelangt nun Schönbein zur Erklärung des Phänomens. Die wichtigsten Thatsachen, welche zu derselben führen, sind folgende:

1) Werden Platindrähte oder Platten, welche kürzere oder längere Zeit in reinem Wasser, oder in Wasser mit Schwefelsäure oder Salzsäure versetzt, als Elektroden gedient haben, in einer Weingeistflamme bis zum

Rothglühen erhitzt, so verlieren sie ihr elektromotorisches Vermögen vollständig.

2) Wird die positiv polarisirte Polplatte, also die, welche als negative Elektrode gedient hat, nur auf einige Augenblicke in eine Chlor- oder Bromatmosphäre gebracht, so wird ihre elektromotorische Kraft völlig vernichtet; dasselbe Resultat wird auch durch ein längeres Eintauchen in Sauerstoffgas erhalten.

3) Ein negativ polarisirter Platindraht verliert seine elektromotorische Kraft, wenn man ihn einige Secunden lang in eine Wasserstoffatmosphären taucht.

4) Durch Eintauchen positiv oder negativ polarisirter Platinplatten in eine Luftart, welche weder auf Sauerstoffgas noch auf Wasserstoffgas in Gegenwart von Platin chemisch einwirkt, wird die elektromotorische Kraft der Platten nicht aufgehoben.

5) Eine Platinplatte, welche nur wenige Secunden lang in eine Atmosphäre von Wasserstoffgas eingetaucht war, ist positiv polarisirt.

6) Gold- und Silberdrähte erlangen kein elektromotorisches Vermögen, wenn man sie in Wasserstoffgas eintaucht.

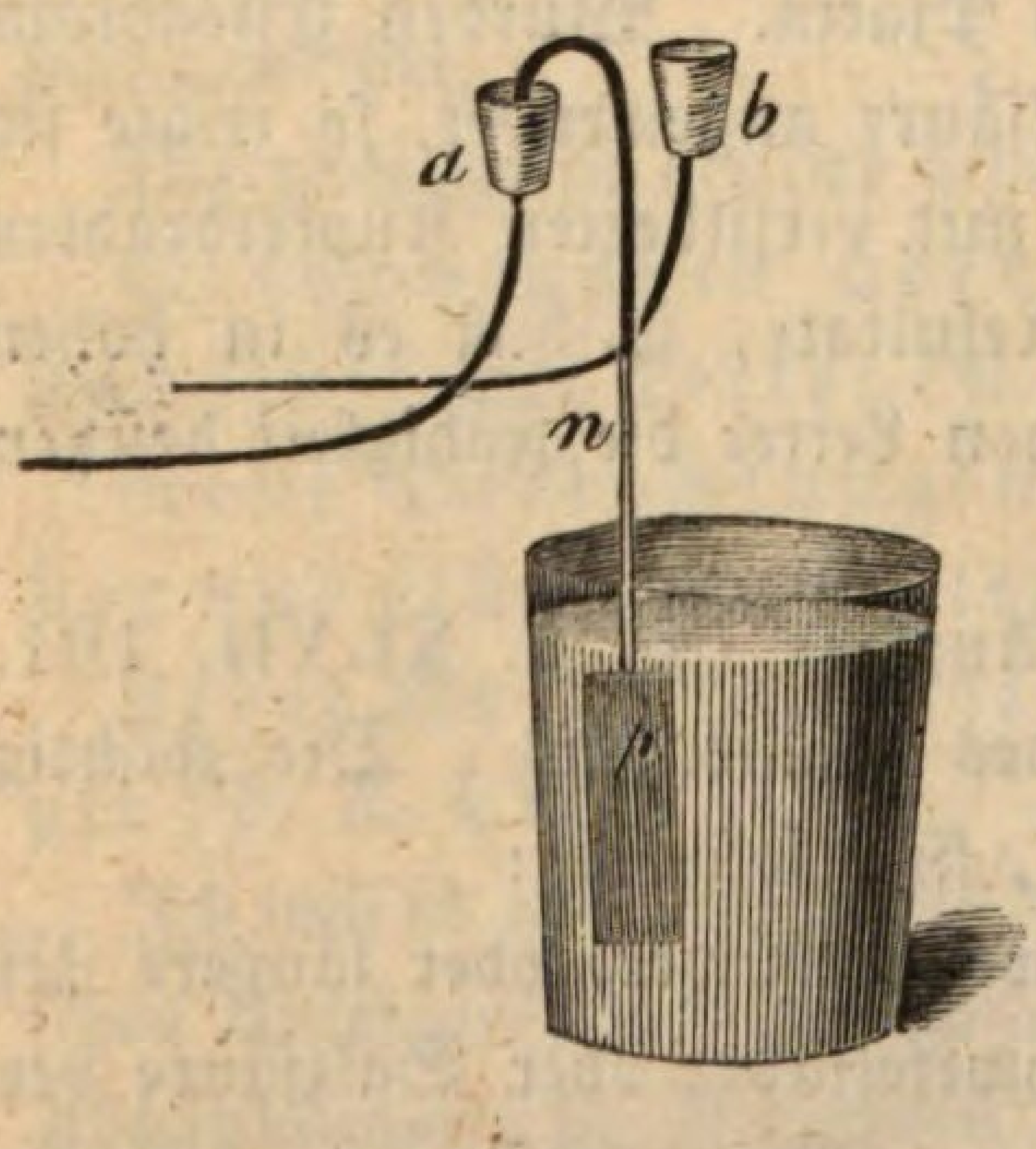
7) Ein Platindraht in Sauerstoffgas gebracht, wird nicht negativ polarisirt, eben so wenig Gold und Silber.

8) Platin, Gold und Silber, nur für einige Augenblicke in gasförmiges Chlor gebracht, werden negativ polarisirt. Bromgas übt auf die genannten Metalle die gleiche Wirkung aus.

Ehe wir zur weitern Besprechung dieser Thatsachen übergehen, wollen wir noch die zweckmäßigste Art betrachten, auf welche man die elektrische Polarisation einer Metallplatte nachweisen kann.

In ein Quecksilbernäpfchen *a*, welches mit dem einen Drahtende eines Multiplicators in Verbindung steht, ist der Draht einer Platinplatte *p* eingetaucht, welche vorher wohl gereinigt seyn muß, und die in ein Gefäß mit etwas angesäuertem Wasser herabhängt. Hängt man in das Näpfchen *b* den Draht einer zweiten ganz gleichen Platinplatte, welche vorher ebenfalls gehörig gereinigt wurde, und die auch in die saure Flüssigkeit eintaucht, so bleibt natürlich die Nadel vollkommen ruhig, da sich ja die beiden Platinplatten elektromotorisch vollkommen gleich verhalten. — Ist aber die zweite Platinplatte, welche mit *p'* be-

Fig. 114.



zeichnet werden mag, auf irgend eine der eben besprochenen Arten polarisirt worden, so entsteht ein Ausschlag der Galvanometernadel, aus deren Richtung man auf die Richtung des Stromes schließen kann.

War z. B. die Platinplatte p' in Wasserstoffgas eingetaucht gewesen, so verhält sie sich elektropositiv gegen die andere, d. h. das Galvanometer zeigt einen Strom an, der von p' durch die Flüssigkeit nach p geht. Wird die Platinplatte p' in Chlorgas eingetaucht, so zeigt der Ausschlag der Nadel, daß p' elektronegativ gegen p ist.

Hat die Platinplatte p' als negative Polplatte zur Wasserelektrolyse gedient, so verhält sie sich genau eben so, als ob sie in eine Flasche mit Wasserstoffgas getaucht gewesen wäre, d. h. zur Schließung des Apparates, Fig. 114, angewandt, wird sie einen Strom hervorbringen, welcher von p' durch die Flüssigkeit nach p geht.

Alle die Erscheinungen, welche wir so eben betrachtet haben, deuten darauf hin, daß die Gasschicht, welche sich bei der Elektrolysation an den Elektroden ausscheidet, wirklich die Ursache der galvanischen Polarisation sey. — Ist eine solche Gasschicht die Ursache der Polarisation, so versteht sich von selbst, daß sie durch Glühen der Metallplatte vernichtet wird. Dieser Umstand allein würde jedoch noch nichts beweisen, weil die Glühhitze denkbarer Weise zerstörend auf die Polarität wirken könnte, auch wenn diese von andern Ursachen, als von einer Gasschicht, abhinge. Entschiedener spricht schon der zweite Versuch. Daß die positive Polarität eines Platindrahtes augenblicklich durch Chlor vernichtet wird, läßt sich kaum anders, als durch die chemische Einwirkung des Chlors auf den Wasserstoff erklären, durch welche unter Bildung von Salzsäure jede Spur von Wasserstoffgas entfernt wird. Beim Eintauchen in Sauerstoff wird das an der Platinplatte haftende Wasserstoffgas durch die Mitwirkung der Platinplatte zur Verbindung mit dem Sauerstoff veranlaßt und dadurch gleichfalls die Ursache der Polarisation entfernt. Daß der Sauerstoff die positive Polarität nicht so schnell vernichtet wie Chlor, hat in der langsamen Action des Sauerstoffs auf den Wasserstoff seinen Grund.

Die unter 4. angeführte Thatsache spricht ebenfalls zu Gunsten der Ansicht, daß die Ursache des polaren Zustandes der Elektroden in Wasserstoff und Sauerstoff liege, welche an denselben hängen; zur völligen Gewißheit dürfte diese Voraussetzung aber durch das Factum erhoben werden, welches unter Nr. 5. angeführt ist. Wenigstens scheint durch letzteres unwiderleglich bewiesen zu seyn, daß die positive Polarität der negativen Elektroden von Wasserstoff herrühre. — Ein Platindraht, welcher gar nicht als negativer Pol gedient hat und dem Einfluß des Stromes auf keinerlei Weise unterworfen war, erlangt durch den Umstand allein, daß

er nur wenige Secunden mit Wasserstoff in Berührung gestanden, alle Volta'schen Eigenschaften eines positiv galvanisirten Drahtes.

Durch diese Versuche hat Schönbein in der That den Schleier gehoben, welcher bis dahin das Wesen der galvanischen Polarisation verhüllte.

Nur zwei der oben mitgetheilten Thatsachen, nämlich die unter 6. und 7. angeführten scheinen der oben angedeuteten Erklärung zu widersprechen.

Während eine Platinplatte, welche als positive Elektrode gedient hat, negativ polarisirt ist, kann man diese Polarisation durch Eintauchen in Sauerstoffgas nicht hervorbringen; dies deutet darauf hin, daß die negative Polarität der positiven Polplatte nicht dem Sauerstoffgas zuzuschreiben sey.

Der Umstand, daß Gold- und Silberdrähte in Wasserstoffgas nicht elektropositiv werden, während dieselben Metalle, wenn sie nur auf wenige Secunden die Rolle der negativen Elektroden gespielt haben, merklich positiv polarisirt erscheinen, erregt wenigstens Zweifel gegen die Ansicht, als ob dem Wasserstoffgas die positive Polarisation der negativen Elektroden beizumessen sey.

Bevor wir zur nähern Betrachtung dieses Umstandes übergehen, wollen wir zunächst die Polarisation der Flüssigkeiten betrachten, welche Schönbein gleichfalls in den oben angeführten Aufsätzen bespricht.

140 **Polarisation flüssiger Körper.** Wird verdünnte Salzsäure oder verdünnte Schwefelsäure, in einer Uförmig gebogenen Röhre enthalten, durch Platinelektroden einige Secunden lang mit den Polen einer Säule verbunden, deren Strom eine merkliche Gasentwicklung in der sauren Flüssigkeit veranlaßt, ersetzt man hierauf die gebrauchten Drähte durch neue, d. h. durch solche, die noch nicht als Poldrähte gedient haben, und verbindet man durch dieselben die Säure mit dem Galvanometer, so weicht die Nadel dieses Instrumentes ab und zwar nach einer Richtung, welche anzeigt, daß der positive Strom von derjenigen Flüssigkeitssäule, in welche der negative Poldraht eingetaucht war, nach derjenigen geht, in welcher die positive Elektrode sich befand, oder, mit andern Worten, dieser secundäre Strom ist dem Strom der Säule entgegengesetzt.

Hier zeigen also die Flüssigkeitssäulen eine galvanische Polarisation.

Der Grund und das Wesen dieser Polarisation wird durch folgende Versuche erläutert:

1) Wird Wasser (durch etwas Schwefelsäure leitender gemacht) mit Wasserstoffgas geschüttelt, diese Flüssigkeit in eine unten mit einer Blase verbundene Röhre gebracht, letztere in ein Gefäß gestellt, welches ebenfalls etwas angesäuertes, aber von Wasserstoff freies Wasser enthält, und verbindet man beide Flüssigkeiten durch Platindrähte mit dem Galvanometer, so erhält man einen Strom, welcher von der Wasserstofflösung zur andern

Flüssigkeit geht. Es verhält sich mit andern die wasserstoffhaltige Flüssigkeit zur andern, wie Zink zum Kupfer. — Wendet man zu diesen Versuch Gold- oder Silberdrähte an, so erhält man keinen Strom.

2) Wird der Versuch ganz unter denselben Umständen angestellt, nur mit dem Unterschiede, daß die Flüssigkeit in dem Röhrchen Sauerstoff anstatt Wasserstoff aufgelöst enthält, so erhält man keinen Strom, mögen nun die Verbindungsdrähte von Platin, Gold oder Silber seyn.

3) Enthält die Flüssigkeit im Röhrchen etwas Chlor oder Brom anstatt Wasserstoff aufgelöst, so erhält man einen Strom, welcher von dem weiteren Gefäße in das Röhrchen übergeht, mag man den Versuch mit Platin-, Gold- oder Silberdrähten anstellen.

4) Läßt man durch Schwefelsäure haltiges Wasser, welches sich in einer Uförmigen Röhre befindet, den Strom einer Säule gehen, so liefert diese Flüssigkeit nur in dem Falle einen secundären Strom, wenn man die Verbindung mit dem Galvanometer durch Platindrähte herstellt. Bei Anwendung von Gold- oder Silberdrähten zeigt die Multiplicatornadel nicht die mindeste Ablenkung.

5) Stellt man den Versuch wie bei 4. an, nimmt man verdünnte Salzsäure statt der verdünnten Schwefelsäure, so erhält man einen secundären Strom, auch wenn man zur Schließung Gold- oder Silberdrähte anwendet.

Die Versuche unter 1., 3. und 5. deuten auch hier darauf hin, daß die Ursache der Polarisation in den Gasen zu suchen sey, welche im Wasser aufgelöst sind.

Die Fälle, in welchen die mit Gasen behandelten Flüssigkeiten keinen Polarisationsstrom geben (also Nr. 2. und 4.), entsprechen ganz den schon oben besprochenen Fällen, daß Metalldrähte oder Platten, welche in Gase eingetaucht waren, keinen Polarisationsstrom hervorzubringen im Stande sind, also den Fällen Nr. 6. und 7. auf Seite 338. — Soll nun der Beweis geliefert werden, daß die an den Metallplatten haftenden Gasschichten oder die in Flüssigkeiten aufgelösten Gase die Ursache der galvanischen Polarisation sind, so muß noch erklärt werden, warum wohl in diesen Fällen die Wirkung ausbleibt. Im Wesentlichen ist Schönbein's Ansicht über diesen Gegenstand folgende:

Schönbein's Theorie der galvanischen Polarisation. Wenn in 141
eine Flüssigkeit zwei gleiche Metallplatten eingetaucht sind, von denen die eine rein, die andere mit einer Gasschicht überzogen ist; oder wenn zwei gleiche Metallplatten eingetaucht sind in die beiden Schenkel einer Uförmigen Röhre, welche mit gleicher Flüssigkeit angefüllt sind, nur mit dem einen Unterschiede, daß in der Flüssigkeit des einen Schenkels ein Gas aufgelöst ist, auf der andern Seite aber nicht, so ist die zwischen beiden Seiten stattfindende Ungleichheit Grund genug zum Auftreten einer elektrischen

Spannung. Diese elektrische Spannung kann nun zur Ausgleichung kommen, sie wird einen elektrischen Strom veranlassen, sobald eine metallische Verbindung zwischen beiden Platten hergestellt wird. Damit aber ein solcher Strom den Multiplicatordraht durchlaufen könne, muß er auch durch die Flüssigkeit hindurchgehen, welche ohne Elektrolyse nicht den mindesten Strom zu leiten im Stande ist. Das Auftreten des Polarisationsstromes ist also wesentlich daran gebunden, daß die Elektrolyse der Flüssigkeit wirklich stattfindet; in allen Fällen nun muß der Strom ausbleiben, in welchen die elektrische Differenz an den beiden Gränzflächen nicht hinreicht, um die Elektrolyse einzuleiten.

Ist z. B. das mit Schwefelsäure angesäuerte Wasser auf einer Seite durch eine reine, auf der andern Seite durch eine mit einer Schicht von Wasserstoffgas überzogene Gold- oder Silberplatte begränzt, so tritt bei metallischer Verbindung der beiden Metallplatten kein Strom ein, weil der Wasserstoff der einen Goldplatte nicht im Stande ist, dem nächsten Wassertheilchen seinen Sauerstoff zu entziehen und dadurch die Elektrolyse durch die ganze Flüssigkeitsschicht einzuleiten; wendet man aber statt der Goldplatten Platin an, so leitet das eigenthümliche Verhalten dieses Metalles zum Wasserstoff und Sauerstoff die Elektrolyse ein, es veranlaßt, daß der Wasserstoff, welcher der Platinplatte zunächst ist, den benachbarten Wassertheilchen ihren Sauerstoff entzieht und so die Zersetzung und Wiederbildung des Wassers bis zur andern Platte veranlaßt. So erklärt sich denn auch, daß der Versuch Nr. 1., Seite 337, mit Platinplatten gelingt, mit Gold- und Silberplatten aber nicht.

Schönbein hält es nicht für unwahrscheinlich, daß dieser Vorgang durch ein Wasserstoffsuboxyd vermittelt werde, dessen Wasserstoff stärker desoxydirend wirke, als reiner Wasserstoff, wie denn auch das dritte Sauerstoffatom der Superoxyde eine weit größere Verwandtschaft zu oxydirbaren Körpern zeigt, als reiner Sauerstoff.

Eine in Chlorgas getauchte Platinplatte, mit einer reinen voltaisch in verdünnter Schwefelsäure combinirt, liefert einen Strom, weil bei dieser Combination die Verwandtschaft des Chlors hinreichend stark ist, um dem nächsten Wassermolecul seinen Wasserstoff zu entziehen und Salzsäure zu bilden, wodurch dann die Elektrolyse des Wassers auf dem ganzen Wege zur anderen Platte eingeleitet wird. Auch wenn man Gold oder Silberplatten zu diesem Versuch anwendet, ist das Chlor noch im Stande, das Wasser zu zerlegen, daher auch in diesem Falle der Strom, welcher natürlich in der Richtung fortschreitet (der positive Strom nämlich), in welcher die Wasserstofftheilchen wandern, so lange fortdauert, bis das Chlor an der einen Metallplate verschwunden ist.

Diesem ganz analog ist die Bildung des Stroms beim Versuch Nr. 3., Seite 341, zu erklären.

Wendet man aber reines Sauerstoffgas statt des Chlors oder Broms an, so befindet sich dasselbe in den obigen Combinationen, um mit Schönbein zu reden, noch nicht in einem solchen Zustande der Erregtheit, daß es die Zersetzung der nächsten Wasserpartikelchen veranlassen könnte, und daher das Ausbleiben des Stromes bei den Versuchen Nr. 7. auf Seite 338 und Nr. 2. auf Seite 341.

Wenn aber reines Sauerstoffgas in diesen Fällen keinen Polarisationsstrom erzeugen kann, wie ist die negative Polarisation einer Platinplatte zu erklären, welche als positive Elektrode gedient hat? Auf keinen Fall durch das an ihn ausgeschiedene Sauerstoffgas. Neben dem Sauerstoff tritt aber an der positiven Elektrode, wie bereits oben Seite 216 erwähnt wurde, Ozon auf, und daß dieser merkwürdige Körper Platinplatten negativ zu polarisiren vermag, ist an der angeführten Stelle bereits erwähnt worden.

Nach Schönbein's Ansicht ist das Ozon ein Wasserstoffsuperoxyd; was dadurch besonders eine große Stütze erhält, daß die Superoxyde der Metalle ein ganz ähnliches Volta'sches Verhalten haben. Das dritte Sauerstoffatom hat eine größere Verwandtschaft zu oxydirbaren Körpern, als der freie Sauerstoff, wodurch sich denn das stark elektronegative Verhalten dieser Körper erklärt.

Hyperoxydketten. Eine mit einem Hyperoxyd, etwa mit Bleihyper- 142
oxyd, überzogene Platinplatte verhält sich elektronegativ gegen eine reine. Taucht man die beiden Platten mit den Enden des Multiplicatordrahtes verbunden in verdünnte Schwefelsäure, so entsteht ein kräftiger Strom von der reinen zu der mit Hyperoxyd überzogenen Platte. Das dritte Atom des Sauerstoffs im Hyperoxyd entzieht den nächsten Wassertheilchen ihren Wasserstoff und leitet dadurch die Elektrolyse durch die ganze Flüssigkeit hiedurch ein.

Um eine Platinplatte mit Bleihyperoxyd zu überziehen, verbindet man sie mit dem positiven Pole einer mehrpaarigen Kette, deren negativer Pol mit einer ähnlichen Platinplatte verbunden ist. Taucht man nun die beiden Platinplatten in eine Lösung von salpetersaurem Bleioxyd, so überzieht sich die positive Polplatte alsbald mit einer Schicht von Bleisuperoxyd.

Der Strom, welchen eine polarisirte Platinplatte mit einer reinen liefert, ist natürlich nur ein vorübergehender, er verschwindet mit der elektromotorischen Schicht, welche die eine Platinplatte überzieht. Diese Schicht verschwindet aber nothwendig in Folge der Strombildung.

Betrachten wir z. B. eine mit Wasserstoffgas positiv polarisirte Platin-

platte; wird diese mit einer reinen Platinplatte combinirt, so entsteht ein Strom, welcher von der überzogenen zur reinen Platte geht, an der überzogenen wird also in Folge des Stroms Sauerstoffgas ausgeschieden, welches sich mit dem Wasserstoff verbindet, welcher sich hier vorfand.

Ebenso verschwinden allmälig die Schichten von Chlor, Bleihyperoxyd u. s. w., mit denen man Platinplatten negativ polarisirt hat, indem sich das Chlor oder der Sauerstoff des Superoxyds mit dem an diesen Platten durch den Strom ausgeschiedenen Wasserstoffgas verbindet.

Da durch Hyperoxyde polarisirte Platinplatten noch bedeutend stärker elektronegativ sich verhalten als reine Platinplatten, so kann man durch Combination von Zink mit Platinplatten, welche mit Bleihyperoxyd überzogen sind, äußerst kräftige galvanische Ketten construiren.

Der praktischen Anwendung solcher Ketten steht vor der Hand noch der Umstand entgegen, daß die Schicht von Superoxyd, deren Herstellung ziemlich umständlich ist, doch gar bald verschwindet.

Eine Messung der elektromotorischen Kraft der Hyperoxydketten hat uns Wheatstone in dem schon mehrfach citirten Aufsatze (P. A. LXII. 522.) gegeben. Er fand für die elektromotorische Kraft von

1	Zinkamalgam, Kupfervitriol, Kupfer	30	470
2	» verdünnte Schwefelsäure, Kupfer	20	313
3	» Platinchlorid, Platin	40	626
4	» verdünnter Schwefel, Platin	27	423
5	Kaliumamalgan, Kupfervitriol, Kupfer	59	924
6	» Platinchlorid, Platin	69	1081
7	» Zinkvitriol, Zink	29	451
8	Zinkamalgam, verdünnte Schwefelsäure, Bleihyperoxyd	68	1065
9	Kaliumamalgam, verdünnte Schwefelsäure, Bleihyperoxyd	98	1535
10	Zinkamalgam, verdünnte Schwefelsäure, Manganhyperoxyd	54	846
11	Kaliumamalgam, verdünnte Schwefelsäure, Manganhyperoxyd	84	1316

Die erste Zahlencolumne enthält die Werthe der elektromotorischen Kräfte, gemessen durch Umgänge des Wheatstone'schen Rheostaten; die letzte Columne giebt die Werthe auf chemisches Maaß reducirt, davon ausgehend, daß die elektromotorische Kraft der ersten Combination der der Daniell'schen Kette gleich zu setzen sey.

Wir sehen also hier, wie die Combination von amalgamirtem Zink mit Bleihyperoxyd eine weit größere elektromotorische Kraft zeigt als amalgamirtes Zink und Platin, wenn auch dafür gesorgt ist, wie bei Nr. 3, daß keine galvanische Polarisation am negativen Metall stattfinden kann. Die Combination Nr. 3 ist eine der Daniell'schen Kette entspre-

chende Combination von Zink und Platin. Aus der Lösung von Platinchlorid wird auf die Platinplatte in Folge des Stroms metallisches Platin ausgeschieden, und dadurch die galvanische Polarisation verhindert, gerade so wie es bei der Daniell'schen Kette durch die Kupferfällung geschieht; wir können also den oben mitgetheilten Zahlenwerth für Nr. 3, nämlich 626, als das Maaß der elektrischen Differenz zwischen Zink (amalgamirt) und Platin betrachten.

Vergleichen wir die elektromotorische Kraft von Nr. 3 mit der elektromotorischen Kraft einer Grove'schen Kette, so ergiebt sich eine bedeutende Differenz, indem erstere nur 626, letztere aber 777, nach meinen Messungen sogar 829 beträgt (Seite 283 und 284).

Aus dieser Differenz glaube ich schließen zu können, daß die Salpetersäure in der Grove'schen, also auch in der Bunsen'schen Kette, nicht bloß durch Wegnahme des Wasserstoffs die Polarisation vernichtend, sondern daß sie auch, in der Weise der Hyperoxyde elektromotorisch wirkt. Ein Umstand, welcher diese Ansicht noch wahrscheinlicher macht ist der, daß die elektromotorische Kraft einer Combination von Manganhyperoxyd mit Zink (Nr. 10) nicht merklich größer ist als die der Grove'schen und Bunsen'schen Kette.

Obige Tabelle zeigt uns auch, wie bedeutend die elektromotorische Kraft noch dadurch erhöht werden kann, daß man das elektropositive Zinkamalgam durch das noch weit mehr elektropositive Kaliumamalgam ersetzt; die Kostbarkeit des Kaliumamalgams dürfte aber wohl die praktische Anwendung solcher Ketten unmöglich machen.

Grove's Gasbatterie. Die Grove'sche Gasbatterie ist bereits in meinem Lehrbuch der Physik beschrieben (3te Aufl. 2ter Band, Seite 201). Die dort mitgetheilte Figur ist jedoch nur eine schematische. Aus Fig. 115 und Fig. 116 ist die Einrichtung einer solchen Gassäule näher zu er- 143

Fig. 115.

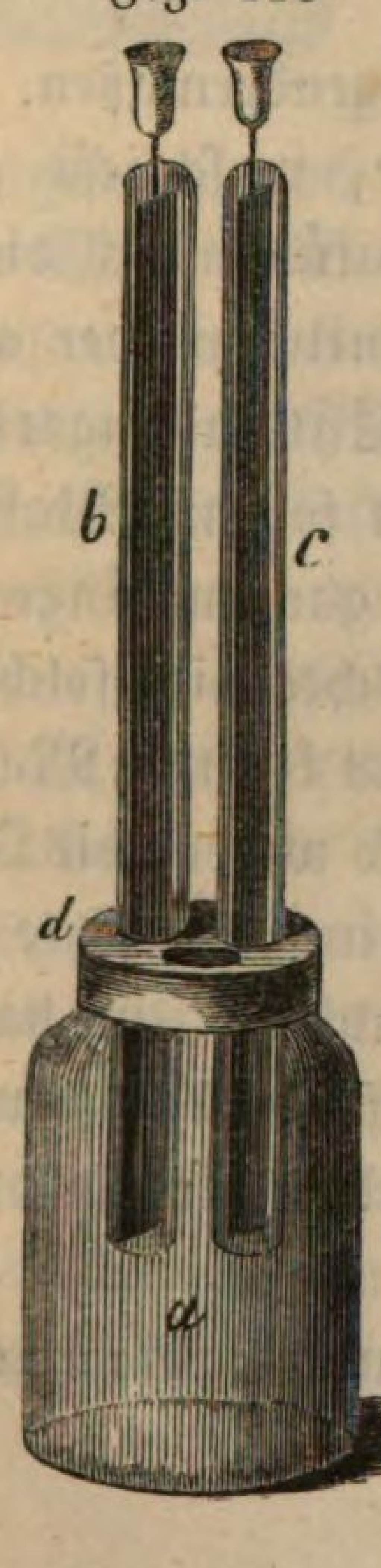
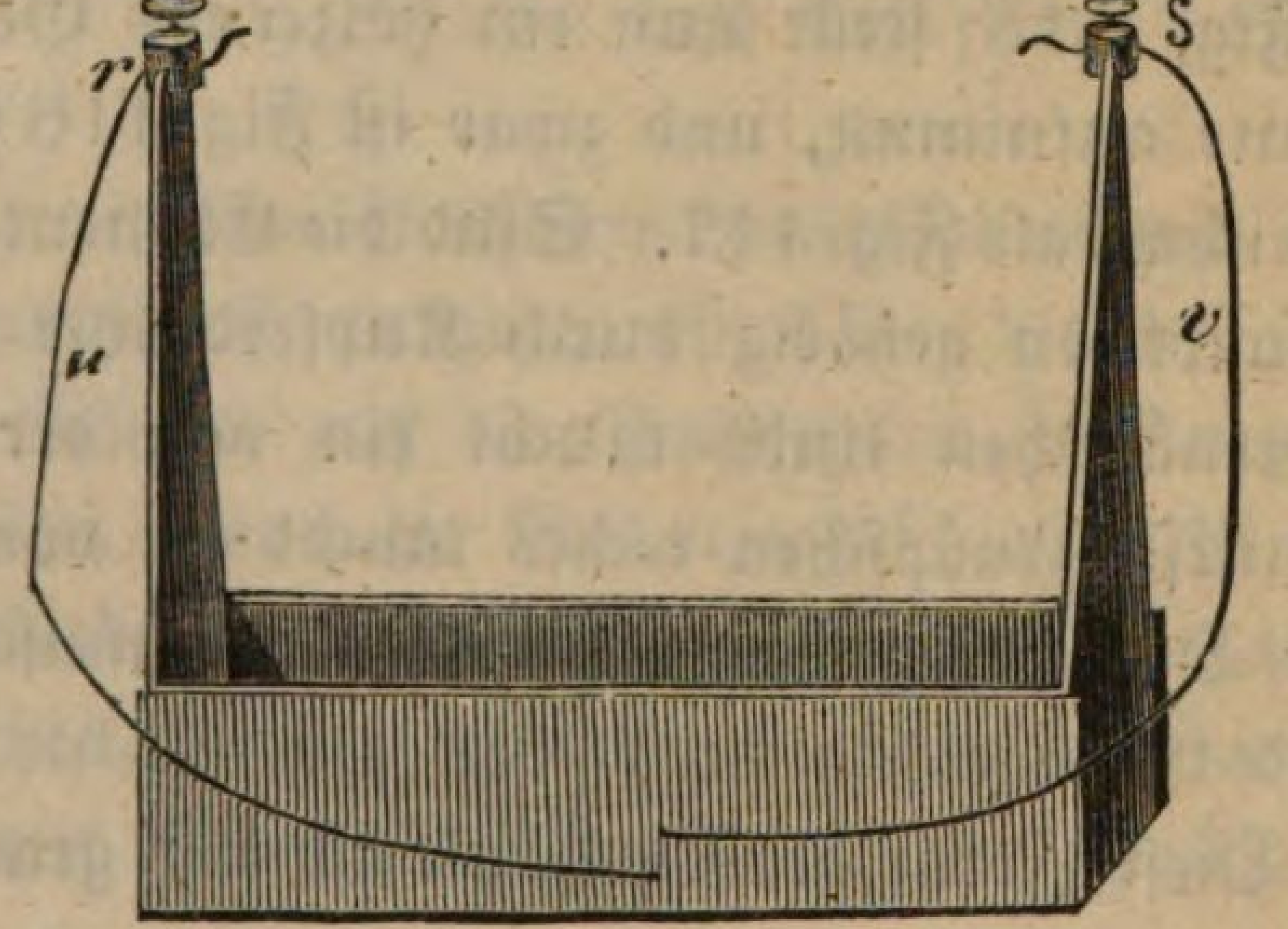
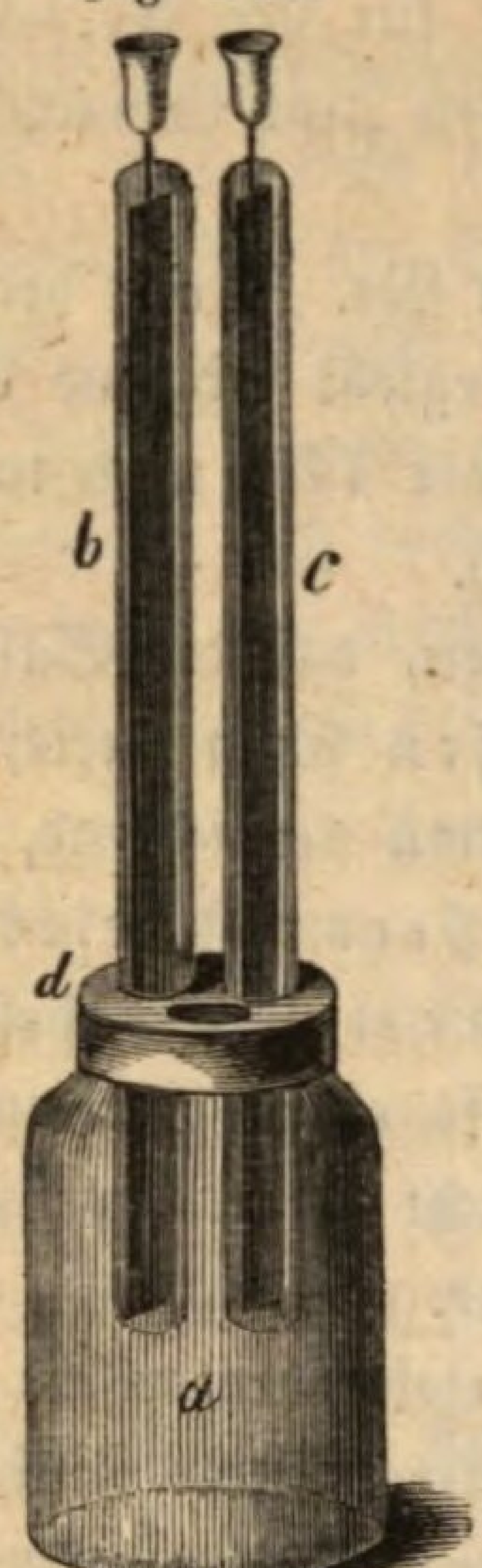


Fig. 116.



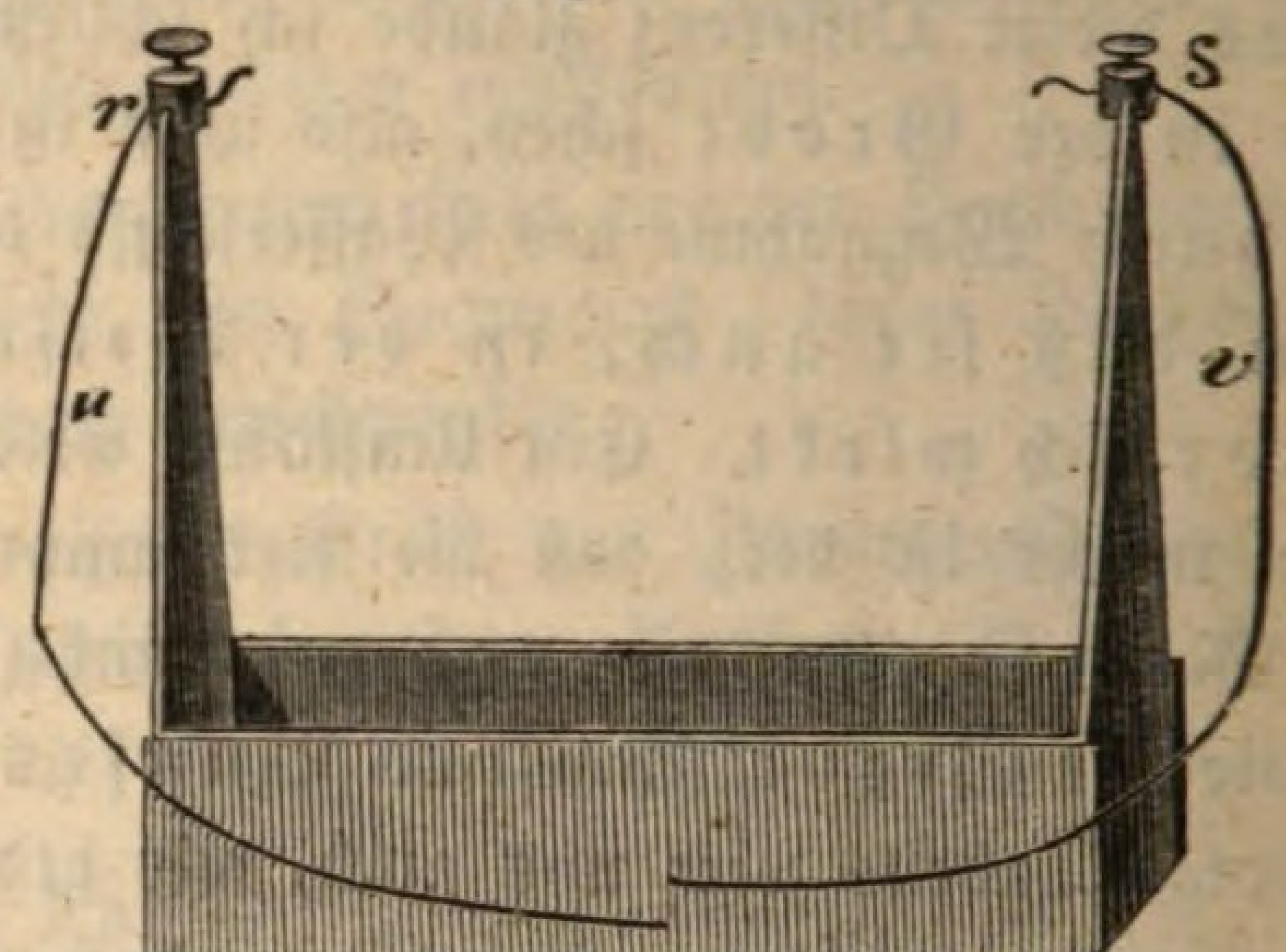
sehen, welche Herr Professor **Schönbein** aus England bezogen hat. Fig. 117 stellt ein einzelnes Element dar. Auf das Glasgefäß *a* ist ein gefirnißter Metalldeckel luftdicht aufgekittet. Dieser Deckel hat drei

Fig. 117.



Oeffnungen; durch zwei derselben gehen die Glasröhren *b* und *c* luftdicht hindurch, die dritte etwas größere kann durch einen Stöpsel verschlossen werden. — Jede der beiden Röhren ist 30 Centimeter lang und hat 1,8 Centimeter im Durchmesser. Am obern Ende einer jeden Röhre ist ein Platindraht

Fig. 118.



eingeschmolzen, welcher oben ein Quecksilbernäpfchen trägt, und an welcher unten eine platinirte Platinplatte angelöthet ist, welche fast bis zum untern Ende der Röhre herabreicht.

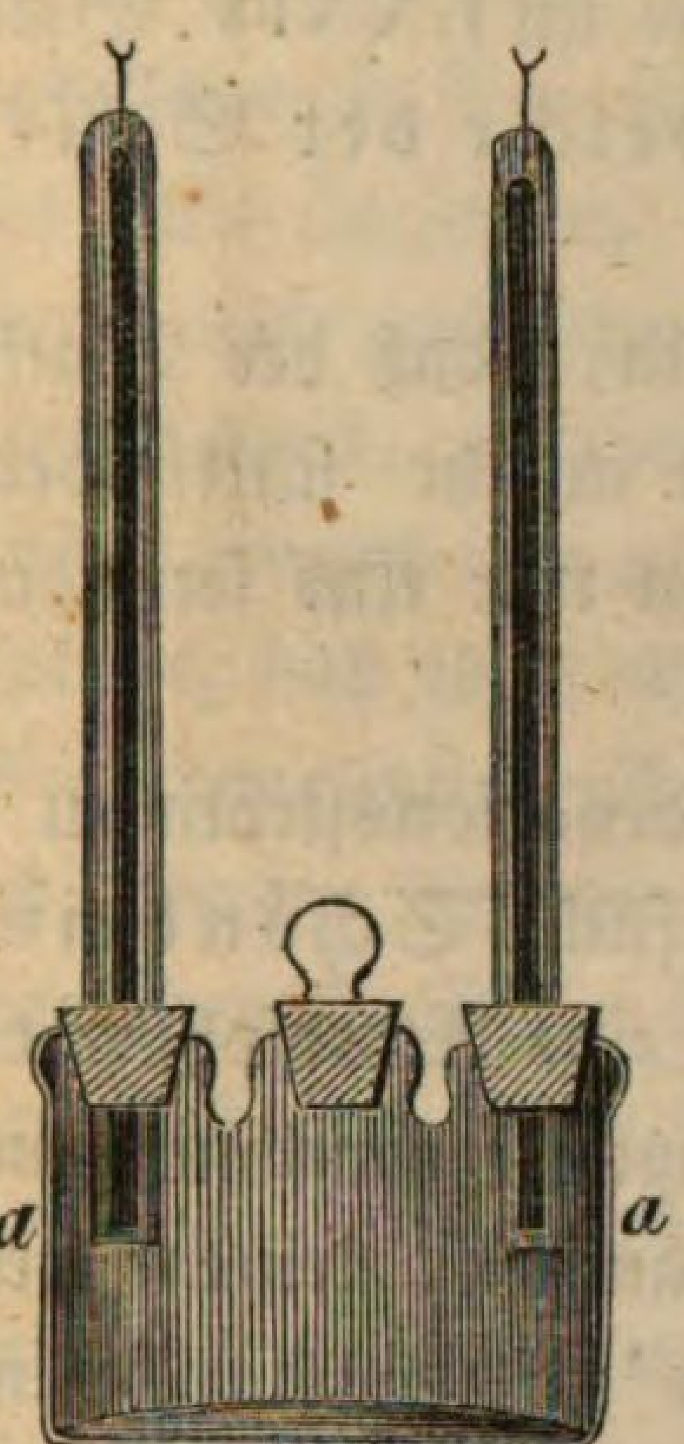
Um ein solches Element zu laden, verfährt man folgendermaßen. Man füllt durch die Oeffnung *d* das Gefäß *a* mit Wasser, verschließt *d*, und kehrt dann den ganzen Apparat um; auf diese Weise füllen sich die Röhren *b* und *c* mit Wasser. Nachdem man das Element wieder aufrecht gestellt hat, führt man durch die Oeffnung *d* das Entbindungsrohr des Gasentwicklungsapparates ein. Das eine Rohr wird so mit Wasserstoffgas, das andere mit Sauerstoffgas etwa bis auf $^3/_4$ der ganzen Länge gefüllt.

Fig. 118 stellt nun ein hölzernes Gestell vor, welches vier solcher Elemente aufnimmt, und zwar ist Fig. 118 in einem 4mal kleinern Maaßstabe gezeichnet als Fig. 117. Sind die Elemente eingestellt, so werden die Quecksilbernäpfchen gehörig durch Kupferdrähte verbunden; in das letzte Quecksilbernäpfchen links taucht ein von der Klemmschraube *r*, in das letzte Quecksilbernäpfchen rechts taucht ein von der Klemmschraube *s* ausgehender Draht. — In die beiden Klemmschrauben werden die Poldrähte *u* und *v* eingeschraubt.

Diese Form der Gassäule ist fast genau dieselbe, welche **Grove** in der

Nachschrift zu einem Aufsatze: »Ueber die Volta'sche Gasbatterie, Versuche, um die Ursache ihrer Wirkung und ihre Anwendung auf Endiometrie zu ermitteln (Phil. Trans. 1843 Pt II. pag. 51 in der Uebersetzung in Poggendorff's Annalen im Ergänzungsband II, 1848) als die zweckmäßigste beschreibt; nur ist dort noch die Einrichtung getroffen, daß man die beiden Gasröhren auch aus dem untern Theil des Apparates herausnehmen und die Gase untersuchen kann. Für diesen Zweck dürfen die beiden Röhren *b* und *c* nicht ein für allemal in dem Deckel des Gefäßes *a* eingekittet, sondern sie müssen in Stöpseln befestigt seyn, mittelst deren man sie in den Deckel des Gefäßes *a* einsetzen und ausheben kann. In Fig. 119 ist die Zeichnung wiedergegeben, welche Grove an dem angeführten Orte mittheilt. Das Gefäß *aa* ist ein Glasgefäß von der Art der Woulfe'schen Flaschen; die mittlere Oeffnung ist durch einen Glasstöpsel geschlossen; die Glasröhren werden mittelst angeschmolzener und auswärts abgeschliffener Glaskragen in die beiden andern Oeffnungen eingesetzt.

Fig. 119.



Theorie der Gassäule. Was die Theorie der Gassäule betrifft, so spricht sich Grove dahin aus: »es sey dieser Batterie eigen, daß ihr Strom durch Gase, und zwar eine Synthese von gleicher aber umgehrter Art, sowohl an der Anode als an der Kathode erregt wird.« Damit ist nun freilich keine klare Vorstellung von dem Vorgang in der Gassäule gegeben; noch dunkler ist die Ausdrucksweise Grove's an allen übrigen Stellen seiner Aufsätze, wo er sich auf theoretische Betrachtungen über diesen Gegenstand einläßt. Es ist jedoch wahrscheinlich, daß der Berichterstatter im »Jahresbericht von Liebig und Kopp, S. 281« wirklich Grove's Ansicht in präciserer Form wiedergiebt, wenn er sagt: »Grove leite die elektromotorische Kraft der Gassäule von dem chemisch elektrischen Gegensatze des Wasserstoffs und Sauerstoffs ab. 144

Eine Stelle des letztern Grove'schen Aufsatzes deutet allerdings darauf hin, daß ihm diese Vorstellungsweise vorgeschwebt habe, wo er sagt: »Will man die Grotthus'sche Theorie auf die Gasbatterie übertragen, so kann man annehmen, es werde, wenn die Batterie geschlossen ist, in der Sauerstoffröhre an jedem Punkte, wo sich Sauerstoff, Wasser und Platin berühren, ein Wasserstofftheilchen das mit ihm verbundene Sauerstofftheilchen verlassen, um sich mit einem Theilchen des freien Gases zu

vereinigen; der dadurch ausgeschiedene Sauerstoff werde sich mit dem Wasserstoff des anliegenden Wassertheilchens verbinden und so fort, bis das letzte Sauerstofftheilchen sich mit einem Theilchen freien Wasserstoffs vereinigt rc.« Allein Grove sagt bald darauf: »Ich erwähne diese Hypothese nicht, als wenn ich ihr buchstäblich anhinge, sondern weil sie die allgemein angenommene ist.«

Gegen die Grove'sche Theorie der Gassäule ist nun Schönbein aufgetreten, und theilweise mag diese Controverse in der erwähnten Unklarheit ihren Grund haben, mit der Grove seine theoretischen Ansichten ausspricht. Schönbein hat seine Ansichten über die Gassäule in zwei Aufsätzen auseinander gesetzt, welche sich in Poggendorff's Annalen finden, der erstere im LVIII. Bande Seite 361 führt den Titel »Ueber die Sauerstoff- und Wasserstoffsäule,« der zweite im LXXIV. Band. Seite 241 ist überschrieben: »Ueber die Rolle, welche der Sauerstoff in der Grove'schen Gassäule spielt.«

Schönbein's Ansicht über die Gassäule geht dahin, »daß der Wasserstoff in der erwähnten Vorrichtung mit Bezug auf die in ihr stattfindende Stromerzeugung eine primitive, der Sauerstoff dagegen nur eine secundäre, d. h. depolarisirende Rolle spielt.«

Allerdings vermag der Wasserstoff allein einen Polarisationsstrom zu erzeugen, wie uns die auf Seite 338 angeführten Versuche Schönbein's beweisen; eine Platinplatte, welche eine kurze Zeit in eine Atmosphäre von Wasserstoff getaucht war, giebt mit einer reinen Platinplatte combinirt einen Strom, selbst wenn die Flüssigkeit, in welche sie eintauchen, keinen freien Sauerstoff enthält; es ist also klar, daß eine Grove'sche Gassäule einen Strom liefern muß, wenn die eine Hälfte der Röhren ganz mit gesäuertem Wasser gefüllt ist, während die andere Hälfte derselben Wasserstoff enthält, selbst wenn aus der Flüssigkeit vorher aller freie Sauerstoff ausgetrieben worden und der Zutritt der atmosphärischen Luft abgesperrt ist.

Dieser Strom nun hört freilich bald auf, weil in Folge desselben sich Wasserstoff an den bisher nicht mit Gas in Berührung stehenden Platinplatten ablagert, also die Differenz aufhört, welche die Strombildung veranlaßte.

Soll der Strom dauernd seyn, so muß der in Folge des Stroms auf der andern Seite ausgeschiedene Wasserstoff alsbald wieder weggeschafft werden, und dies ist nach Schönbein's Ansicht die Function, welche der Sauerstoff in der Gassäule zu verrichten hat.

Schönbein's Meinung geht also dahin, der Sauerstoff wirke in der Gassäule nicht elektromotorisch, sondern nur depolarisirend; er stützt sich dabei auf die Beobachtung, deren Glaubwürdigkeit der Berichterstatter im »Jahresbericht von Liebig und Kopp,« wohl mit Unrecht in Zweifel zieht,

daß **reiner** Sauerstoff eine Platinplatte nicht in der Weise zu polärisiren vermöge, wie Wasserstoff, wie wir dies auf Seite 338 gesehen haben.

Die Oben ermittelten Zahlenwerthe für die Polarisation der Platinplatten in verschiedenen Gasen macht es möglich, die Frage in ganz präcise Ausdrücke zu fassen.

Die Gesammtpolarisation in einem Voltameter ist im Maximum ungefähr 1200; die Hälfte dieser Polarisation kommt auf die negative mit Wasserstoff bekleidete, die andere Hälfte auf die positive mit ozonhaltigem Sauerstoff bekleidete Platinplatte; nun ist die Frage: ist die elektromotorische Kraft eines Elementes der Grove'schen Gassäule gleich 1200; oder ist sie nach Schönbein's Ansicht nur 600?

Obgleich eine mit reinem Sauerstoff bekleidete Platinplatte, mit einer andern in gesäuertem Wasser combinirt, keinen Strom erregt, so findet doch jedenfalls auch hier eine elektrische Differenz Statt, wenn sie auch nicht hinreicht, die Zersetzung der zwischenliegenden Wasserschicht einzuleiten, es ist deshalb auch wahrscheinlich, daß die elektromotorische Kraft eines Grove'schen Gaselementes, geladen mit Wasserstoff und reinem Sauerstoff, größer ist als 600, wenn sie gleich den Werth 1200 nicht erreicht, welcher der Fall entspricht, daß man mit ozonhaltigem Sauerstoff zu thun hat.

Auf den ersten Anblick erscheint wohl nichts leichter, als diese Frage durch einen directen Versuch, nämlich durch Messung der elektromotorischen Kraft der Gassäule, zu entscheiden, doch zeigt eine nährere Prüfung, daß hier von der Messung der elektromotorischen Kraft keine Rede seyn kann. — Die Platinplatten der Gassäule sind nämlich durchaus nicht ihrer ganzen Ausdehnung nach so mit Gasen bekleidet, sondern nur theilweise; wir haben also hier denselben Fall, als ob man in ein mit gesäuertem Wasser gefülltes Gefäß zwei außerhalb der Flüssigkeit metallisch verbundene Platinplatten eintauchte, von denen die eine an mehreren Stellen mit Zink bedeckt ist. Wenn man die verschiedenen Methoden zur Bestimmung der elektromotorischen Kraft auf den Strom anwendet, welcher hier den die beiden Platinplatten verbindenden Draht durchläuft, so wird man (ganz abgesehen von der Polarisation, welche an der reinen Platinplatte auftritt) gewiß nicht den wahren Werth der elektrischen Differenz zwischen Zink und Platin erhalten. Wegen der nur partiellen Bekleidung der Platinplatten mit Gas bilden sich Seitenentladungen, so daß der Strom, welcher den Schließungsdraht durchläuft, nur ein Theil des durch die elektrischen Gegensätze in der Kette hervorgebrachten Effects ist, daher denn auch zum Theil die außerordentlich geringe Stromstärke der Gassäule.

Wirkungen der Gassäule. Mit einer Gasbatterie von 50 Elementen erhielt Grove folgende Wirkungen: 145

1) Einen Schlag, den fünf sich anfassende Personen noch fühlen konnten.

2) An einen mäßig empfindlichen Galvanometer brachte der Strom eine bleibende Ablenkung von 60° hervor.

3) Bedeutende Divirgenz eines Goldblattelektroskops.

4) Zwischen Kohlenspitzen einen hellen, bei vollem Tageslicht sichtbaren Funken.

5) Elektrolytische Zersetzung von Jodkalium und gesäuertem Wasser.

Um eine merkliche Wasserzersetzung hervorzubringen, reichen vier Zellen der oben beschriebenen Einrichtung hin. Eine einzige Zelle zersetzt Jodkalium.

Zehn Elemente dieser Art mit verdünnter Schwefelsäure vom specifischen Gewicht 1,2 und abwechselnd mit Wasserstoff und Sauerstoff gefüllt, wurden mit einem eingeschalteten Voltameter zur Batterie geschlossen und 36 Stunden stehen gelassen. Am Ende dieser Zeit waren 2,1 Kubikzoll Knallgas im Voltameter entwickelt worden; in jeder der Wasserstoffröhren war 1,5 Kubikzoll, in jeder der Sauerstoffröhren war 0,7 Kubikzoll, zusammen also 2,2 Gas verschwunden. Die Differenz (2,2 gegen 2,1) rührt wohl daher, daß eine schwache Absorption des Sauerstoffs durch das Wasser stattfindet.

Wenn ein merklicher Strom stattfinden soll, so dürfen die platinirten Platinplatten nicht ganz unter den Wasserspiegel untertauchen, sondern sie müssen begreiflicherweise theilweise aus der Flüssigkeit hervor-, und in die Gasatmosphäre hineinragen.

Eine Batterie, deren Röhren abwechselnd mit Wasserstoff und verdünnter Salpetersäure geladen waren, gab einen Strom, und zwar reichten drei Paare hin, um in einem eingeschalteten Voltameter Wasser zu zersetzen.

Einen sehr kräftigen Strom giebt die Gassäule, wenn man den Sauerstoff durch Chlor ersetzt. Eine Chlorwasserstoffsäule von zwei Elementen reicht hin, um Wasser zwischen Platinplatten zu zersetzen.

Aehnlich wie Wasserstoff verhält sich Kohlenoxydgas in der Gassäule.

Andere Gase, z. B. Stickgas, verhalten sich absulut wirkungslos in der Gasbatterie. Bringt man z. B. in eine Röhre ein Gemenge von Stickstoff und Sauerstoff, in die andere Wasserstoffgas, so wird nach Schließung der Kette aller Sauerstoff der einen Röhre allmälig vollständig verzehrt, während der Stickstoff derselben zurückbleibt. Darauf gründet sich der Vorschlag Grove's, die Gassäule zu eudiometrischen Versuchen anzuwenden.

In einem zweiten Aufsatz, welcher sich im zweiten Ergänzungsbande von Poggendorff's Annalen findet (Seite 407), beschreibt Grove folgende merkwürdige Versuche.

Die eine Röhre eines Gassäulenelementes wurde mit Sauerstoff geladen, in die andere aber wurde mittelst eines kleinen auf einem Glasstiel befestigten Glastrichterchen, wie es in Fig. 120. dargestellt ist, ein gewogenes Stückchen Phosphor gebracht, und dann die Röhre zum Theil mit Stickstoff gefüllt. Der Apparat, durch einen Galvanometer geschlossen,

zeigte einen Strom an. Nach viermonatlicher Schließung, während welcher das Galvanometer immer einen Strom anzeigte, war das Wasser in der Sauerstoffröhre um 1 Kubikzoll gestiegen, in der Stickstoffröhre aber gar nicht; dagegen war das Phosphorstückchen um 0,4 Gran leichter geworden.

Fig. 120.



Dies Resultat ist leicht zu erklären, in der Atmosphäre von Stickstoff verbreiten sich Phosphordämpfe und diese verhalten sich denn gerade, wie der Wasserstoff in der gewöhnlichen Gasbatterie.

Schwefel anstatt Phosphor gab keine Wirkung, als aber der Schwefel dadurch zum Schmelzen gebracht wurde, daß man einen heißen Metallring an der Stelle, an welcher sich gerade das Trichterchen befand, um die Gasröhre hielt, gab das Galvanometer augenblicklich einen Ausschlag.

Die beiden Röhren der Gasbatterie wurden mit Stickstoff geladen, die eine aber mit Phosphor, die andere mit Jod versehen. Nach der Schließung zeigte sich ein entschiedener Strom, welcher Monate lang anhielt.

Das Stickgas änderte sein Volum nicht, die Flüssigkeit färbte sich aber allmälig. Hier wirkt der Joddampf wie Sauerstoff, der Phosphordampf wie Wasserstoff.

Poggendorff's Wippe. Es ist bekannt, daß, wenn man zwei 146
homogene Platten, etwa zwei Platinplatten, welche in verdünnter Säure eintauchen, mit den Polen auch nur eines Volta'schen Elementes verbindet, die galvanische Polarisation, welche dieselben erfahren, hinreichend stark ist, um einen Strom in entgegengesetzter Richtung hervorzubringen, wenn man sie leitend verbindet, nachdem man den primitiven Strom unterbrochen hat. Es sey z. B. in Fig. 121. *a* ein Voltameter, *b* ein galvanisches Element, welches seinen Strom durch das Voltameter sendet; unterbricht man nun diesen Strom, verbindet man alsdann die Drahtenden eines Multiplicators *c* mit den beiden Platten, so zeigt dieses den Polarisationsstrom an, welcher jedoch bald wieder aufhört.

Fig. 121.



Auf diese Weise können ganze Reihen von Platten polarisirt werden, und so erhält man die Ritter'sche Ladungssäule, zu deren Ladung man jedoch stets eine primitive Säule von vielen Plattenpaaren anwandte; die elektromotorische Kraft, welche den secundären Strom der Ladungssäule in Bewegung setzte, ist aber begreiflicher Weise stets kleiner als die elektromotorische Kraft der ladenden primitiven Säule.

Poggendorff hat nun eine Vorrichtung ersonnen, um mit einer ein-

fachen Volta'schen Kette eine secundäre Säule von beliebig vielen Plattenpaaren zu laden und so einen Strom von viel größerer elektromotorischer Kraft als die der ladenden Kette zu erhalten (P. A. LX. 568.).

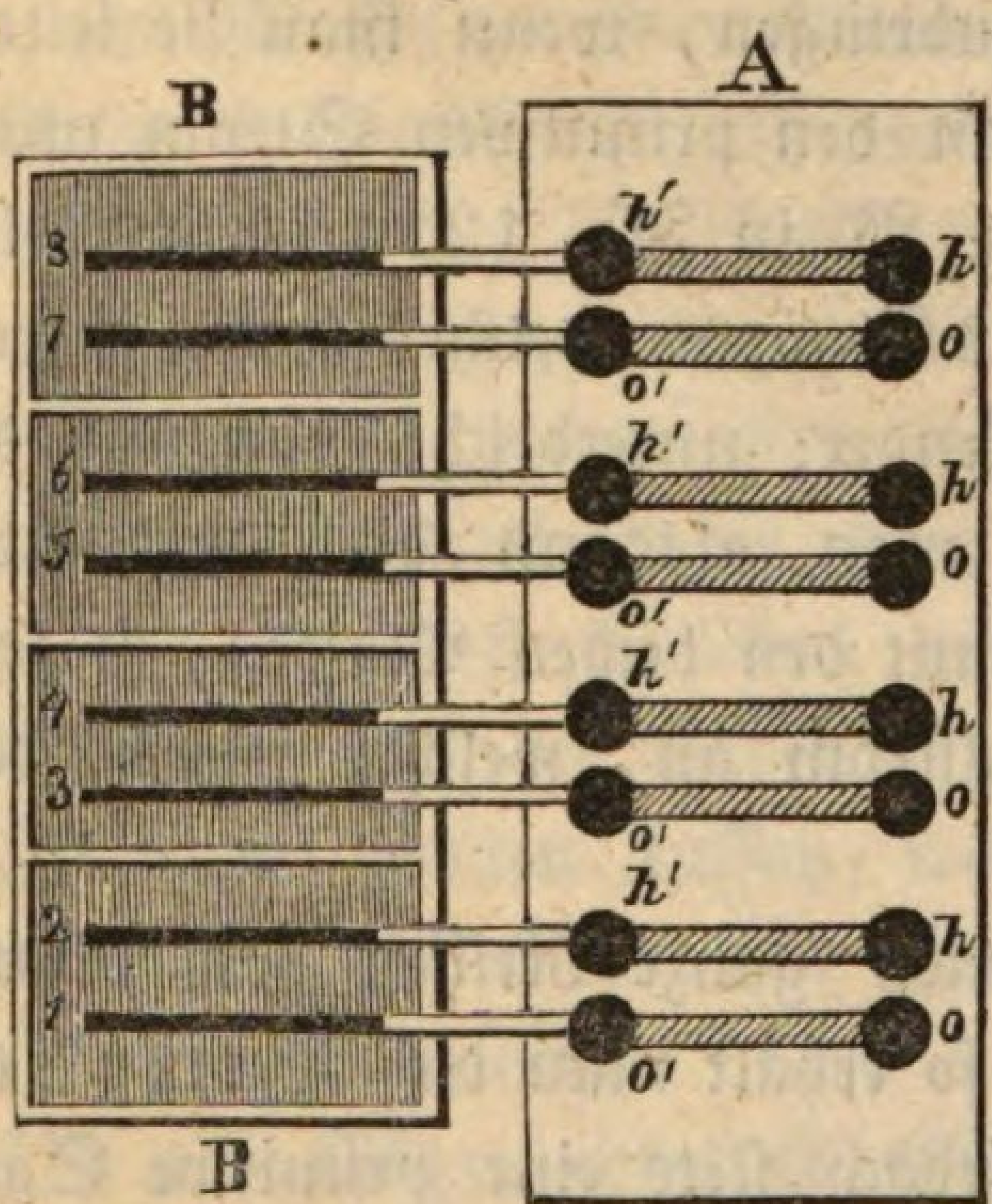
Das Verfahren ist folgendes. Gesetzt, man habe eine Reihe von Platinplatten paarweise in Zellen gesetzt, die mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt sind, wie dies in Fig 122. angedeutet ist. Die Platten 1 und 2 sind in der ersten, 3 und 4 in der zweiten Zelle u. s. w. — Werden nun die Platten 1, 3, 5 und 7 mit dem positiven Pol der einfachen Kette verbunden, die Platten 2, 4, 6 und 8 aber mit dem negativen, so werden die mit ungeraden Zahlen bezeichneten Platten eine negative Polarisation erfahren (indem sich an ihnen Sauerstoffgas ablagert), die mit geraden Zahlen bezeichneten Platten aber werden positiv polarisirt (durch Wasserstoffgas).

Nachdem nun diese Verbindung nur ganz kurze Zeit bestanden hat, wird sie rasch aufgehoben und nunmehr die geladenen Platten nach dem Princip der Säule verbunden und durch ein Voltameter geschlossen, welches jetzt von einem Strom von viel größerer Spannung durchlaufen wird als der primitive war, weil sich ja in dieser Combination die elektromotorische Kraft aller polarisirten Plattenpaare summirt.

Zu diesem Zweck müssen die Platten 1 und 8 mit den Voltameterdrähten in leitende Verbindung gebracht, während 2 und 3, 4 und 5, 6 und 7 durch Metalldrähte verbunden werden.

Poggendorff hat nun einen Apparat, die Wippe genannt, ersonnen, um diese Ladungen und Entladungen in rascher Aufeinanderfolge bewerkstelligen zu können. Folgendes ist die Einrichtung dieses Instrumentes.

Fig. 122.



Neben den Zellen *BB*, welche die Platinplatten aufnehmen, und welche man Fig. 122. im Grundriß sieht, ist ein Brett *AA* angebracht, welches die Unterlage zur eigentlichen Wippe bildet. Es ist von hartem, dichtem Holz, gemacht 1 Zoll dick, 3¾ Zoll breit, und falls das Instrument zur Ladung einer Batterie von vier Plattenpaaren dienen soll, ungefähr 6 Zoll lang.

In dieses Brett sind bis zur Tiefe von ungefähr ½ Zoll zwei Löcherreihen *h o* und *h' o'* eingebohrt, welche paarweise durch Kupferdrähte die an beiden Enden hakenförmig herabgebogen sind, oder auch durch Eisenstäbe die in das Brett eingelassen sind, verbunden werden, wie es in unsern Figuren gezeichnet ist. Die Löcher werden mit Quecksilber gefüllt.

Von der Platinplatte 1 geht ein Kupferdraht nach o', die Platte 1 ist also mit dem vordersten o' und o in leitender Verbindung, ebenso die Platte 2 mit den beiden folgenden Quecksilbernäpfchen h' und h u. s. w.

Damit die Verbindungsdrähte möglichst kurz seyen, hat man die Unterlage AA durch ein Statif oder durch Holzklötze in gleiche Höhe mit dem oberen Theil der Platinplatten, und diesen recht nahe zu bringen.

Auf die Unterlage kommt die eigentliche Wippe zu stehen, welche mit der Unterlage in Fig. 123 in etwas größerem Maaßstab perspectivisch, und in Fig. 124 im Durchschnitt dargestellt ist.

Fig. 123.

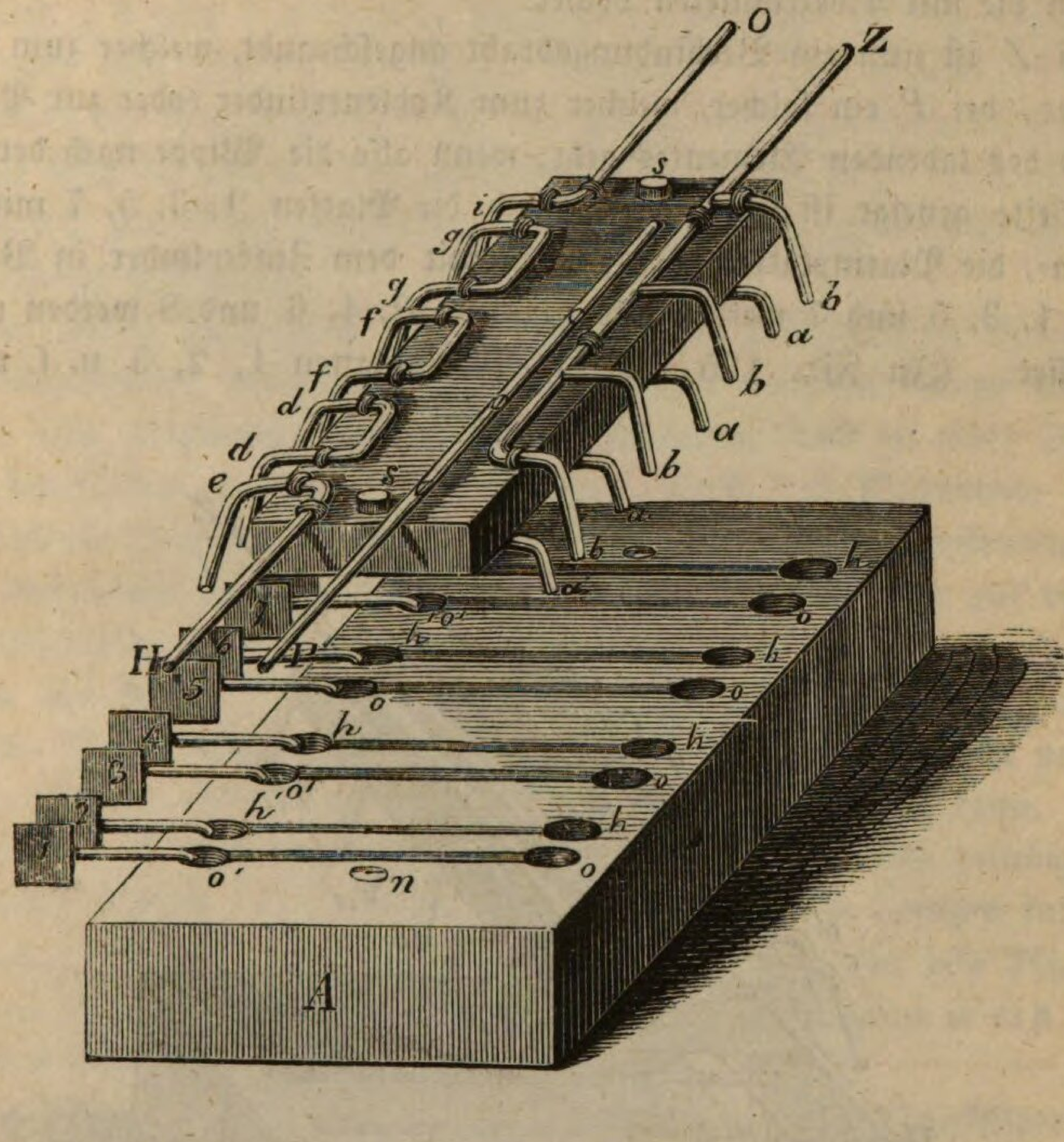
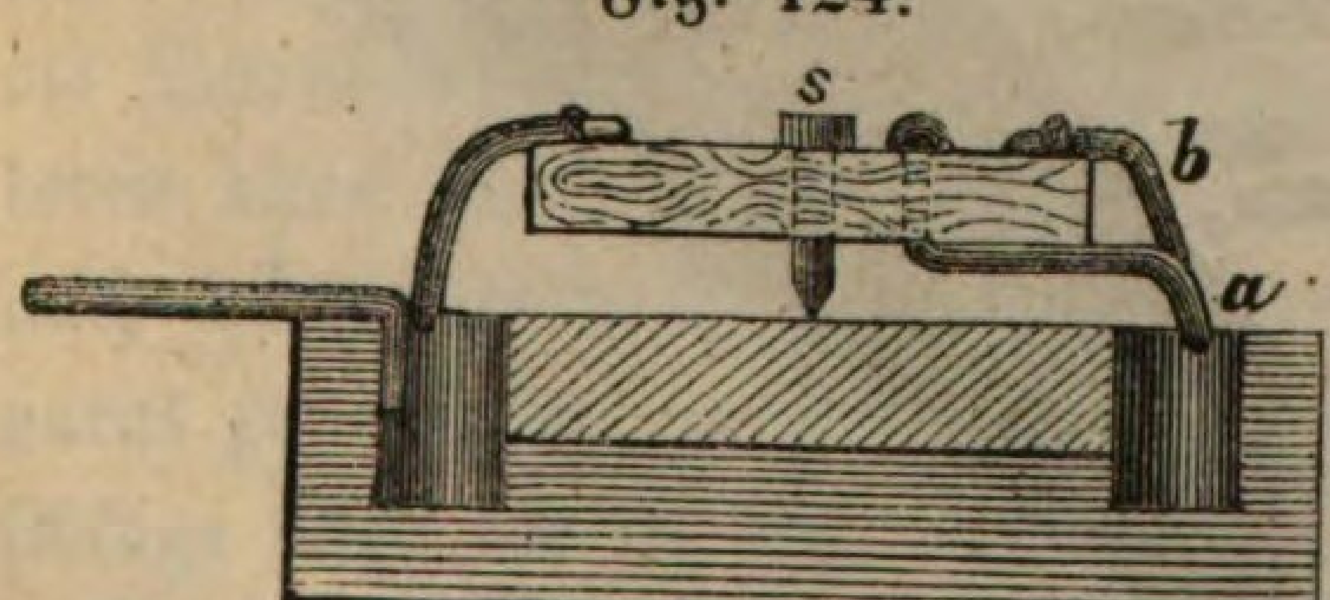


Fig. 124.



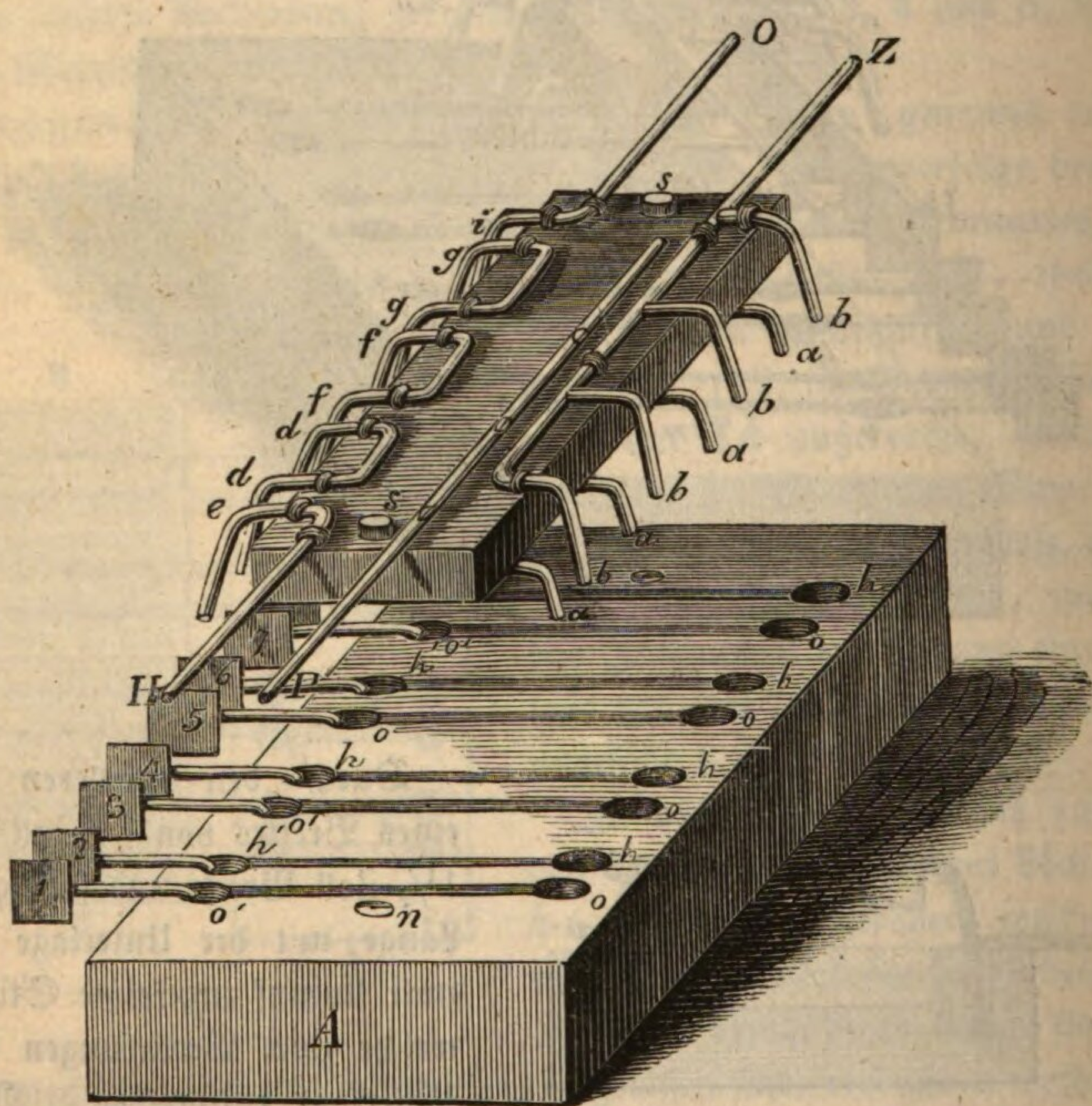
Durch den mittleren Theil eines Brettes von 1/3 Zoll Dicke, 1 1/2 Zoll Breite und fast gleicher Länge mit der Unterlage gehen zwei stumpf zugespitzte Stifte ss, welche zwei Vertiefungen in der Unterlage entsprechen. Mittelst dieser Stifte stützt sich die Wippe auf die Unterlage in der Weise, daß sie

entweder nach der einen oder nach der andern Seite neigt, so daß die an dem Brett befindlichen Haken entweder in die Quecksilbernäpfchen rechts oder links eintauchen.

Diese Haken sind von Kupferdraht. Auf der rechten Seite ist die Hälfte aller Haken, nämlich die mit *b* bezeichneten an einem nach Hinten verlängerten und dort mit *Z* bezeichneten Kupferdraht befestigt; die mit *a* bezeichneten Haken aber gehen durch das Brett hindurch zu einem nach vorn verlängerten und da mit *P* bezeichneten Kupferdraht. Ist nun die Wippe auf die rechte Seite geneigt, so tauchen die mit *a* bezeichneten Haken in die mit *o* bezeichneten Löcher, die mit *b* bezeichneten Haken tauchen aber in die mit *h* bezeichneten Löcher.

Bei *Z* ist nun ein Verbindungsdraht angeschraubt, welcher zum Zinkcylinder, bei *P* ein solcher, welcher zum Kohlencylinder (oder zur Platinplatte) des ladenden Elementes geht; wenn also die Wippe nach der rechten Seite geneigt ist, so sind dadurch die Platten 1, 3, 5, 7 mit dem Kohlen-, die Platinplatten 2, 4, 6, 8 mit dem Zinkcylinder in Verbindung, 1, 3, 5 und 7 werden also negativ; 2, 4, 6 und 8 werden positiv polarisirt. (In Fig. 125 sind die Platinplatten 1, 2, 3 u. s. w., zu

Fig. 125.



welchen die Kupferdrähte führen, welche aus den Löchern *o'* und *h'* nach der Linken gehen, nur schematisch angedeutet.)

Auf der linken Seite der Wippe befindet sich nun ein anderes Hakensystem. Der vorderste *e* ist nach vorne (nach *H*) gebogen, der hinterste *i* nach Hinten (nach *O*). Die beiden mit *d* bezeichneten Haken sind aus einem Stück Kupferdraht gemacht, ebenso die beiden mit *f* und die beiden mit *g* bezeichneten Haken. Wird nun die Wippe nach der linken Seite geneigt, so treten die Haken *a* und *b* aus dem Quecksilber der Näpfchen heraus, die Haken *c*, *d*, *f*, *g* und *i* aber tauchen in die Näpfchen *o'* und *h'* ein. Durch die Haken *d* werden die Platten 2 und 3, durch *f* 4 und 5, durch *g* 6 und 7 in leitende Verbindung gebracht, also die Platinplatten nach dem System der Säule combinirt. Bei *H* nun ist der eine Enddraht des Voltameters, bei *O* der andere angeschraubt, sobald also die Wippe nach der linken Seite gelegt wird, werden die zuvor geladenen Platinplatten zur Säule verbunden, und diese Säule gleichzeitig durch das Voltameter geschlossen.

Der durchs Voltameter gehende Strom der Ladungssäule ist ein rasch vorübergehender; neigt man die Wippe wieder nach der rechten Seite, so findet eine abermalige Ladung der Platinplatten, und bei einer Neigung nach der Linken eine abermalige Entladung durch das Voltameter Statt.

Was die Vorsichtsmaßregeln betrifft, die man bei der Construction und dem Gebrauche der Wippe zu beobachten hat, so müssen wir auf die Originalabhandlung verweisen (P. A. LXI. 586).

Um den Proceß des Ladens und Entladens zu unterhalten, hat man nur die Wippe andauernd hin- und her zu bewegen, was leicht mit dem Finger 2- bis 300mal in der Minute ausgeführt werden kann. Man erhält auf diese Weise zwar einen intermittirenden, aber doch beliebig lange wirkenden Strom, den man zu verschiedenen Zwecken benutzen kann. — Poggendorff's Säule bestand aus 4 Plattenpaaren von $2\frac{1}{2}$ Quadratzoll Fläche auf jeder Seite; als primäre Kette brauchte er ein Grove'sches Element.

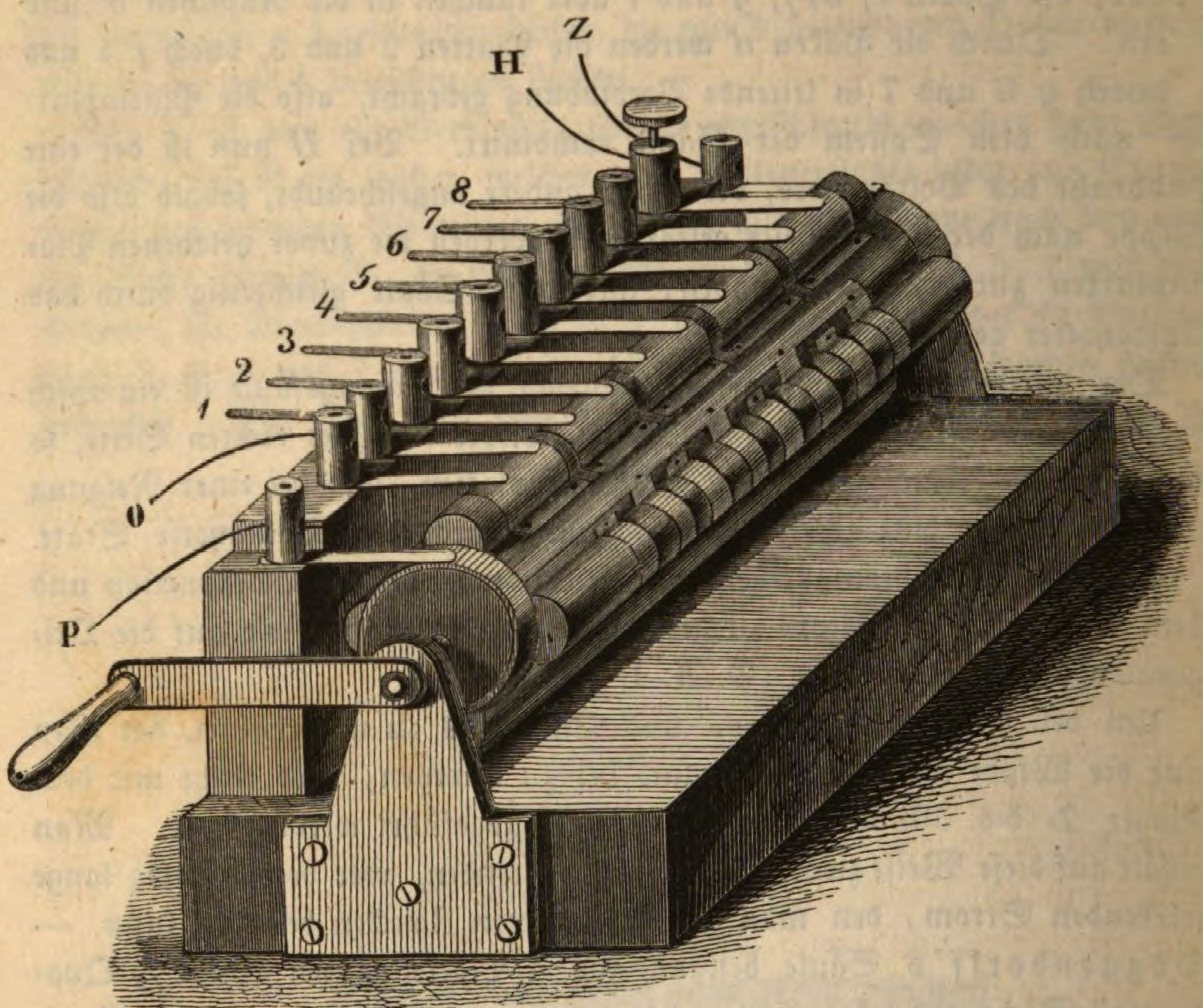
Die Herstellung galvanischer Verbindungen mittelst Quecksilber führt mehrerlei Unannehmlichkeiten mit sich, weshalb man in neuerer Zeit vielfach bemüht war, sie durch andere Vorrichtungen zu ersetzen; so hat man die Quecksilbernäpfchen durch Schraubklemmen ersetzt, man hat Commutatoren ohne Quecksilber construirt u. s. w. Deshalb erschien es mir denn auch wünschenswerth, die Poggendorff'sche Wippe durch einen Apparat zu ersetzen, welcher den gleichen Zweck ohne Quecksilber erfüllt. Ich schlage dazu die in Fig. 126 (a. f. S.) abgebildete Vorrichtung vor.

Auf einem vertikal stehenden Brette auf der linken Seite unserer Figur ist eine Reihe von Messingpfeilern angebracht, welche zum Einschrauben

von Metalldrähten dienen; der Schraubenkopf, welcher zum Festklemmen der Drähte dient, ist jedoch nur bei der vorletzten gezeichnet; alle übrigen Pfeiler müssen mit eben solchen Schrauben versehen seyn. — Alle diese Messingpfeiler stehen auf Metallfedern, welche auf einer drehbaren Walze schleifen; der erste und der letzte Pfeiler stehen etwas tiefer als die andern.

Auf den beiden Enden der Walze sitzen Kupferringe. Auf dem vor-

Fig. 126.



deren Kupferring schleift die Feder des ersten Pfeilers (dessen eingeklemmter Draht nach *P* führt), auf den hinteren Kupferring schleift die Feder des letzten Pfeilers (dessen Draht nach *Z* geht).

Diese Drähte führen zur Platinplatte und zur Zinkplatte des ladenden Elementes.

In den ersten und letzten der höher liegenden Pfeiler sind die Drähte *O* und *H* eingeschraubt, welche zu den Platinplatten des Voltameters führen.

Die Drähte 1, 2, 3, . . . 8, welche in den übrigen Pfeilern eingeklemmt sind, führen zu den Platinplatten der secundären Säule.

Auf der drehbaren Holzwalze sitzen nun, immer um 90^0 abstehend, 4

halbkreisförmige Holzleisten, welche theilweise mit Streifen von Kupferblech überzogen sind; auf diesen schleifen dann während der Drehung abwechselnd die Federn der höher gelegenen Pfeiler.

Auf der Leiste, welche in der Zeichnung gerade nach Oben steht, und auf welcher die Federn jetzt gerade liegen, sind die Kupferbügel so angebracht, daß 1 mit O, 2 mit 3, 4 mit 5, 6 mit 7 und 8 mit H in leitender Verbindung ist; eben sind also die Platinplatten 1. bis 8 nach dem Princip der Säule combinirt, und durch das Voltameter geschlossen.

Die eben nach Unten gerichtete Holzleiste hat gleiche Einrichtung mit der nach Oben stehenden.

Ebenso haben die beiden diametral einander gegenüberstehenden Wulste, welche eben auf der rechten und linken Seite der Walze sich befinden, gleiche Einrichtung und zwar so, daß wenn diese mit den Metallfedern in Berührung kommen, daß alsdann die Platten 2, 4, 6 und 8 mit dem Kohlencylinder, 1, 3, 5 und 7 mit dem Zinkcylinder des ladenden Elementes leitend verbunden sind.

Des leichteren Ausdrucks wegen wollen wir die Wulste, welche eben in der Zeichnung Oben und Unten stehen, die Entladungswulste, die beiden andern die Ladungswulste nennen.

Die Einrichtung der Ladungswulste ist folgende. Ueber den Holzwulst sind 8 Kupferbügel so gelegt, daß sie mit den 8 Federn in Berührung kommen, welche den 8 Platinplatten entsprechen. Die eine Hälfte dieser Bügel (in unserer Figur von vorn an gezählt die 2te, 4te, 6te und 8te) sind mit einem Kupferstreifen verbunden, welcher zu dem vorderen Kupferring der Walze, also nach P führt. Auf dieselbe Weise ist die andere Hälfte der Kupferbügel (also 1, 3, 5 und 7) mit einem ähnlichen Kupferstreifen verbunden, welcher, auf der andern Seite des Holzwulstes liegend, in unserer Figur nicht sichtbar ist, und welcher zum hintern Kupferring der Walze, also nach Z führt; die Bügel 1, 3, 5 und 7 sind also mit dem Zinkcylinder, 2, 4, 6 und 8 sind mit dem Kohlencylinder des ladenden Elements in Verbindung, wenn der Ladungswulst oben ist.

Die Walze wird mittelst der Kurbel umgedreht; bei jeder Umdrehung erfolgt eine zweimalige Ladung und eine zweimalige Entladung der secundären Säule.

Die zweckmäßigsten Dimensionen der Walze sind 12 Centimeter Länge (für eine Säule von 4 Plattenpaaren) und (ohne die Wulste) $2^1/_2$ bis 3 Centimeter Durchmesser.

Durch ein Grove'sches Element wird bekanntlich das Wasser nur höchst unbedeutend zersetzt; es bekleiden sich die Voltameterplatten zwar mit Gasbläschen, aber nur sehr wenige steigen auf. Benutzt man aber durch Vermittlung der Wippe die einfache Kette zur Ladung der secun-

dären Säule, in deren Schließungsbogen dasselbe Voltameter eingeschaltet ist, so erhält man, sobald die Wippe in Bewegung gesetzt wird, eine lebhafte Wasserzersetzung, zum augenfälligen Beweis, daß die elektromotorische Kraft des secundären Stroms beträchtlich stärker ist als die des primären.

Mit einem Voltameter, dessen Platten auf jeder Seite ungefähr 3 Quadratzoll Fläche dem mit Schwefelsäure versetzten Wasser darboten, erhielt Poggendorff 5 bis 6 Kubikcentimeter Knallgas in der Minute, wenn in dieser Zeit die Wippe etwa 80mal hin- und herging.

Der mittelst der Wippe erhaltene secundäre Strom besitzt eine elektromotorische Kraft, welche die des primären Stroms der einfachen Kette um so mehr übertrifft, je mehr Plattenpaare die secundäre Säule hat; dagegen ist der chemische Gesammteffect, welchen der secundäre Strom im Voltameter hervorbringt, doch nur $\frac{1}{n}$ (wenn die secundäre Säule aus n Plattenpaaren besteht) von demjenigen, welchen der primäre Strom zuvor in jeder einzelnen Zelle zur Ladung der Platten hervorgebracht hatte; denn während sich bei dem oben angeführten Versuche Poggendorff's im Voltameter 6 C.C. Knallgas sammelten, mußten sich in jeder der vier Zellen der Ladungssäule 6 C.C. dieser Gase zu Wasser vereinigen, und diese Gasmenge war vorher durch die Wirkung der primären Kette aus dem Wasser entbunden worden; in der Minute müßten also durch die Wirkung der primären Kette in den 4 Zellen zusammen das Wasser zu $6 \times 4 = 24$ Kubikcentimetern Gas elektrolysirt worden seyn, damit im Voltameter 6 Kubikcentimeter frei werden können.

Ohne die Wippe würde freilich durch die directe Wirkung der einfachen Kette in den 4 Zellen (welche in dieser Combination ein großes Plattenpaar darstellen) noch nicht einmal 0,1 Kubikcentimeter Gas entbunden worden seyn, weil das Gas, welches im ersten Momente des Stromdurchgangs auftritt, sogleich eine Polarisation der Platten bewirkt, in Folge deren nur ein äußerst schwacher Strom noch circuliren kann; durch die Wippe wird aber diese Polarisation sogleich wieder weggenommen und dadurch wieder eine ungeschwächte Wirkung der ladenden Zelle möglich.

Die Platinplatten, aus denen Poggendorff seine secundäre Säule zusammensetzte, waren platinirt, d. h. mit Platinmohr überzogen (siehe Seite 280). Wenn der secundäre Strom einigermaßen kräftig seyn soll, so ist dies durchaus nöthig; wenigstens müssen die negativen Platten der secundären Säule, d. h. diejenigen platinirt seyn, an denen der primitive Strom Sauerstoff ausgeschieden hat, und denen der secundäre Strom Wasserstoffgas zuführt. Der Einfluß des Platinirens geht aus folgenden, von Poggendorff angestellten Versuchen hervor.

In fünf Minuten lieferte eine Säule von zwei Paaren Platinplatten mit einem kleinen Grove'schen Elemente und der Wippe verbunden folgende Gasmenge:

1) Alle Platten blank . . . . etwas über 1 C.C.
3) die positiven Platten platinirt 1,5
4) die negativen Platten platinirt . . . . 13 bis 14
3) alle Platten platinirt . . . . 13 bis 14.

Die positiven Platten sind diejenigen, an denen der ursprüngliche Strom Wasserstoffgas ausgeschieden hat.

Dies rührt nicht daher, daß die platinirten Platten stärker polarisirt wurden, denn in der That werden sie weniger stark polarisirt als blanke, sondern nach Poggendorff's Meinung besteht die Wirkung des Platinmohrs darin, daß er die Verbindung des an ihm durch den primären Strom ausgeschiedenen Sauerstoffs mit dem in Folge des secundären Stromes hier nascirenden Wasserstoff begünstigt. Gegen die Art und Weise, wie Poggendorff diese Ansicht ausspricht und zu begründen sucht, ließe sich wohl mancherlei einwenden, was zu besprechen jedoch hier nicht der Ort sein dürfte.

Mit Erfolg hat Poggendorff Platten von Bunsen'scher Kohle zur Construction der secundären Säule angewandt. Eine Batterie von 2 Paaren solcher Blätter 1 Zoll breit und 1,5 Zoll tief, in verdünnte Säure getaucht, gaben im Voltameter in 5 Minuten 8 Cubikcentimeter Knallgas.

Der Polarisationsstrom, welcher eine solche secundäre Säule mittelst der Wippe liefert, ist bedeutend stärker als der einer Grove'schen Gassäule. In einer Minute liefert der intermittirende Strom einer secundären Säule von zwei Plattenpaaren mittelst der Wippe $^{14}/_{5} = 2{,}8$ C.C. Knallgas, während der continuirliche Strom einer Gassäule von 10 Zellen in 36 Stunden nur 2,1 Kubikzoll, also in der Minute ungefähr nur 0,016 Cubikcentimeter Knallgas liefert.

Aeltere Beobachtungen über das Verhalten des Eisens zur Salpetersäure. 147 Taucht man einen Eisendraht in Salpetersäure, deren specifisches Gewicht 1,4 ist, so bräunt er sich augenblicklich, während rothe Dämpfe mit mehr oder minder starkem Aufbrausen entweichen. Dies hört aber bald wieder auf, das Eisen nimmt seinen Metallglanz wieder an, und behält ihn so lange es in der Säure bleibt, ohne daß ein weiteres Angreifen stattfindet. — Einmal in diesen Zustand der chemischen Unthätigkeit versetzt, bleibt ein solcher Draht aber auch in noch verdünnterer Säure, die diesen Zustand für sich nicht hätte hervorrufen können, unthätig.

Dieses merkwürdige Verhalten des Eisens gegen Salpetersäure wurde

bereits im vorigen Jahrhundert von James Keir beobachtet und bekannt gemacht (Phil. Trans. für 1790), doch standen diese Erscheinungen damals zu isolirt da, als daß es möglich gewesen wäre ihre wahre Natur zu ermitteln, und so geriethen denn Keir's Beobachtungen in Vergessenheit.

Erst nach 37 Jahren machte Wetzlar ähnliche Erfahrungen, die er in Schweigger's Jahrbuch der Chemie und Physik Bd. 49, S. 470, Bd. 50, S. 88 und 129, Bd. 56, S. 206 publicirte. In England nahm Herrschel diesen Gegenstand wieder auf (P. A. XXXII. 211) und Fechner beobachtete ähnliche Erscheinungen bei der Einwirkung von salpetersaurem Silber auf Eisen. Am eifrigsten hat Schönbein diesen Gegenstand verfolgt, und ihm gehört vor Allen das Verdienst, den Kreis der hierher gehörigen Phänomene durch seine Arbeiten am meisten erweitert zu haben.

Weil Schönbein die Erscheinungen der Passivität des Eisens (eine Bezeichnung, die durch ihn in die Wissenschaft eingeführt wurde) am vollständigsten in ihren verschiedenen Beziehungen verfolgt hat, dürfte es wohl am zweckmäßigsten seyn, sich, was die Kenntniß der Thatsachen betrifft, vorzugsweise an seine Abhandlungen zu halten, aus denen ich das Wesentlichste hier möglichst übersichtlich zusammen stellen will. Der geehrte Naturforscher möge mir nicht verübeln, wenn ich hier die Bemerkung nicht unterdrücken kann, daß durch eine eigenthümlich diffuse Darstellungsweise, welche in diesem Aufsatze herrscht, dem Leser die Orientirung sehr erschwert wird.

148 **Schönbein's Beobachtungen über die Passivität des Eisens.** Die erste Abhandlung Schönbein's, welche hierher gehört, findet sich in Poggendorff's Annalen (XXXVII. 390).

Es ist eine längst bekannte Thatsache, beginnt Schönbein, daß möglichst wasserfreie Salpetersäure mehrere Metalle nicht angreift, während dieselben von einer mehr wasserhaltigen Salpetersäure mit Heftigkeit oxydirt werden; hierher gehört unter andern Zinn, vor allen aber das Eisen.

Vollkommen rostfreie Eisen-Feilspäne werden mit Salpetersäure von 1,5 spec. Gew. übergossen, von der Säure nicht angegriffen. — Läßt man in die über den Feilspänen stehenden Säure so viel Wasser tropfen, daß sie einen Verdünnungsgrad erhält, bei welchem sie frische Eisenfeile rasch angreifen würde, so bleiben die vorher mit der concentrirten Salpetersäure behandelten Feilspäne völlig passiv.

Ein gleiches Verhalten zeigen Feilspäne, wenn sie zuerst mit Säure von 1,5 angefeuchtet und dann mit verdünnter Säure übergossen werden.

Die Behandlung mit concentrirter Salpetersäure ist es jedoch nicht

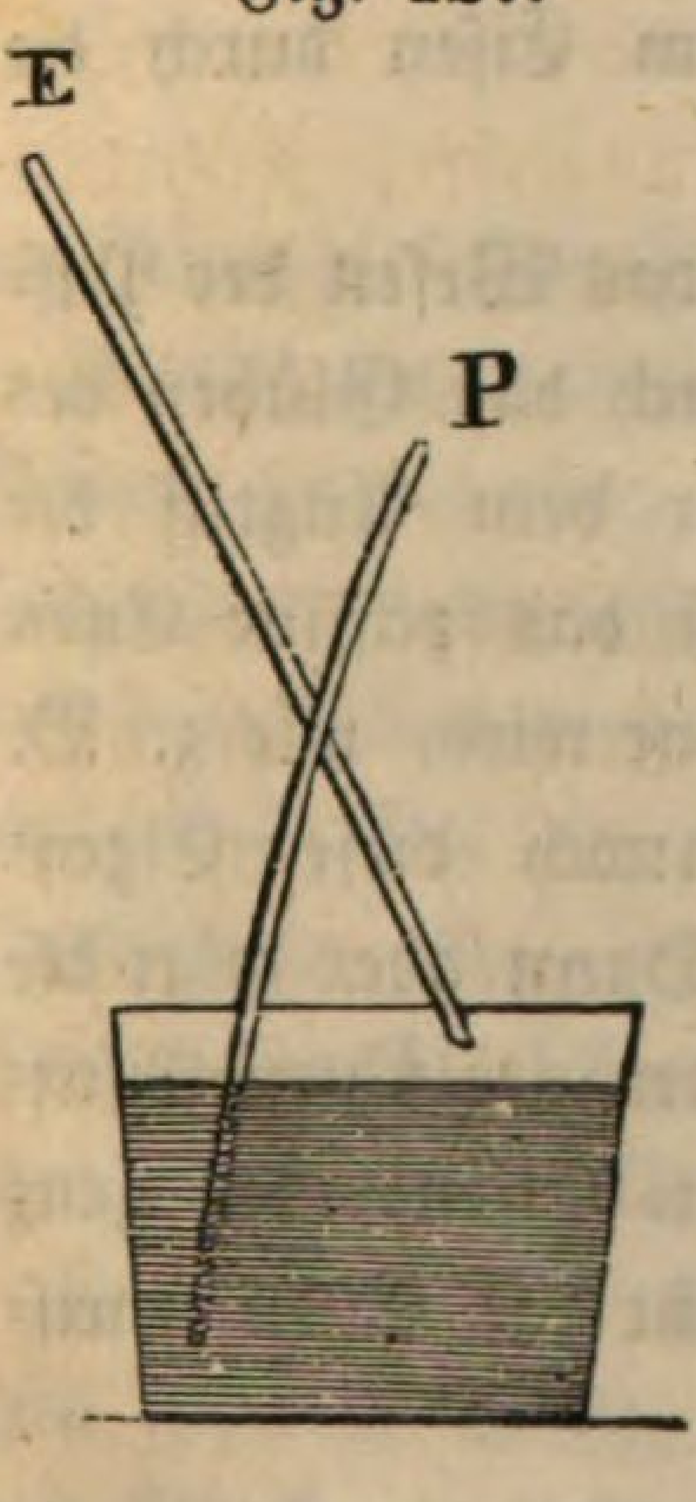
allein, welche das Eisen passiv macht. Eisenfeile, nur einige Secunden über der Weingeistlampe erhitzt, werden weder von concentrirter, noch von verdünnter Salpetersäure angegriffen.

Diese Versuche lassen sich mit Eisendrähten noch bequemer anstellen. Ein Eisendraht, in Salpetersäure von 1,5 specifischem Gewicht eingetaucht, wird passiv; ebenso dadurch, daß man ihn in einer Weingeistflamme bis zum Anlaufen erhitzt. Man kann den so passiv gemachten Draht in verdünntere Säure tauchen, ohne daß er angegriffen wird, während ein gewöhnlicher Eisendraht eine stürmische Gasentwicklung veranlaßt. Die Verdünnung der Säure darf nicht über eine gewisse Gränze hinausgehen, welche bis jetzt noch nicht bestimmt ist; nur so viel hat Schönbein ausgemittelt, daß Salpetersäure von 1,36 spec. Gew. mit den 15 und mehrfachen Volumen Wasser verdünnt, geglühte Eisendrähte ebenso angreift, wie gewöhnliche.

Bringt man einen Eisendraht in Salpetersäure von 1,35 spec. Gew., so wird er mit stürmischer Heftigkeit angegriffen; nimmt man den Draht nach etwa einer Secunde wieder aus der Säure heraus, hält man ihn einige Augenblicke in der Luft und taucht ihn dann abermals in die Flüssigkeit ein, so wird die Wirkung der Säure auf das Eisen schon merklich schwächer seyn; nach drei bis viermaligem Eintauchen und Herausnehmen tritt eine ziemlich langsame Action ein, und bei der fünften, spätestens bei der sechsten Eintauchung erfolgt absolute chemische Indifferenz des Eisendrahtes, welche an dem vollkommen metallisch glänzenden Zustande der Oberfläche des in die Säure tauchenden Drahtendes erkannt wird, der überhaupt das in Salpetersäure passiv gemachte Eisen charakterisirt.

Aus den eben mitgetheilten Thatsachen ergiebt sich noch keinerlei Beziehung zwischen der Passivität des Eisens zu seinen elektrischen Eigenschaften; daß aber solche Beziehungen stattfinden, ergiebt sich aber zunächst aus folgender Methode, das Eisen passiv zu machen.

Fig. 127.

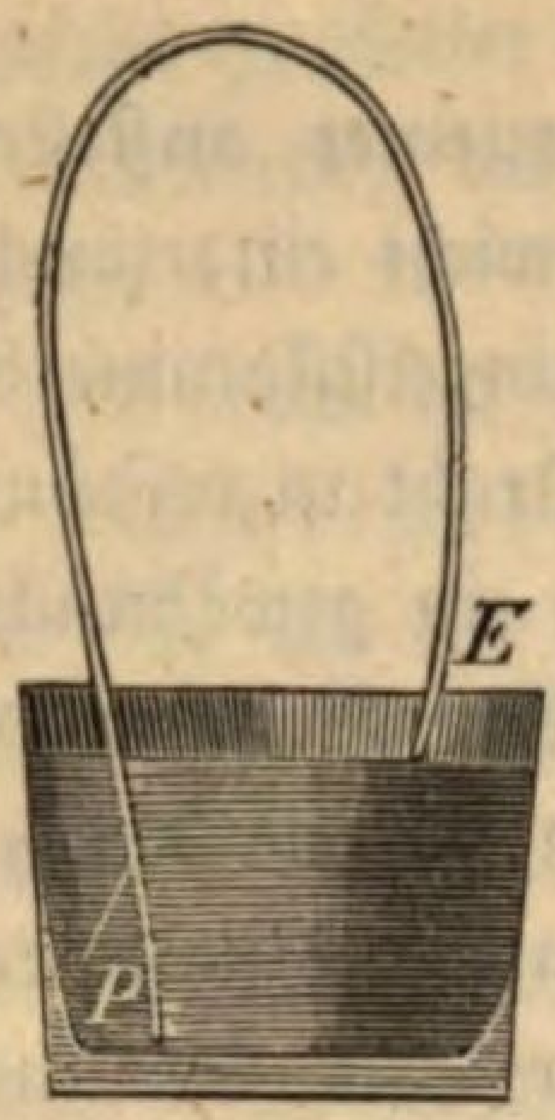


Taucht man in Salpetersäure von 1,35 spec. Gew. zuerst einen Platindraht *P*, Fig. 127, berührt man denselben mit einem wohl gereinigten Eisendraht, so wird derselbe nicht von der Säure angegriffen, wenn man ihn in die Flüssigkeit eintaucht, während er außerhalb fortwährend mit dem Platindraht in Berührung bleibt, obgleich derselbe Draht für sich allein lebhaft von der Säure angegriffen wird.

Taucht man statt des Platindrahtes das geglühte und dadurch passiv gemachte Ende eines Eisendrahtes in die Flüssigkeit, so kann dieser vollkommen die Rolle des Platindrahtes im vorigen Versuch übernehmen.

Fig. 128. stellt eine Variation dieses Versuchs dar. Das geglühte und dadurch passiv gemachte Ende eines Eisendrahts werde in Salpetersäure von 1,35 spec. Gew. getaucht. — Es wird nicht angegriffen. Biegt man aber nun den Draht um, so wird auch das ungeglühte Ende E beim Eintauchen in die Flüssigkeit nicht angegriffen, während ein heftiger Angriff erfolgt, wenn man das ungeglühte Ende E in die Flüssigkeit eintaucht, ohne daß sich das geglühte Ende P schon darin befindet.

Fig. 128.



Es muß hier noch beigefügt werden, daß die erwähnten Erscheinungen der Passivität nicht mehr eintreten, wenn die Temperatur der Säure bis auf 80^0 gesteigert wird, und daß sie sich überhaupt um so schwieriger zeigen, je mehr die Säure sich diesem Wärmegrade nähert.

Hat man den Draht E, Fig. 127 in die Flüssigkeit eingeschoben, während er außerhalb mit P in Berührung blieb, so kann man nun P ganz entfernen, ohne daß der Draht E seine Passivität verliert; ja man kann mit dem auf die erwähnte Weise passiv gemachten Drahte E die Passivität auf einen weitern gewöhnlichen Eisendraht in derselben Weise übertragen, wie man sie von P und E übertrug.

Fig. 129.



Der in Fig. 129 schematisch dargestellte Versuch ist für die Theorie der Passivität von besonderer Wichtigkeit. An dem einen Drahtende eines Galvanometers befestige man einen geglühten Eisendraht, an dem andern einen gewöhnlichen Eisendraht. Taucht man nun zuerst den passiven und dann den andern Eisendraht in Salpetersäure von 1,35 spec. Gew. so zeigt das Galvanometer einen alsbald wieder vorübergehenden Strom in der Richtung vom Eisen durch die Flüssigkeit zum Platin an.

Diese Versuche lassen uns schon einen tiefen Blick in das Wesen der Passivität des Eisens thun. Zunächst ist klar, daß die durch das Glühen des Eisendrahtes gebildete Oxydulschicht den Eisendraht vor dem Angriff der Säure schützt, und dadurch ist die Idee nahe gelegt, daß das passive Eisen selbst in solchen Fällen, wo eine solche Schicht nicht sichtbar wird, wie z. B. beim Eintauchen in concentrirte Salpetersäure, dennoch diese Eigenschaft einer dünnen Oxydulschicht zu verdanken hat. — Dann aber zeigt der Umstand, daß man den Platindraht, Fig. 127, mit einem geglühten Eisendraht vertauschen kann, daß das durch Glühen gebildete Eisenoxydul ganz wie Platin functionirt, daß durch eine solche Oxydulschicht das Eisen gewissermaßen eine negative galvanische Polarisation erleidet.

Alle passiven Eisendrähte werden in heißer Säure wieder in active ver-

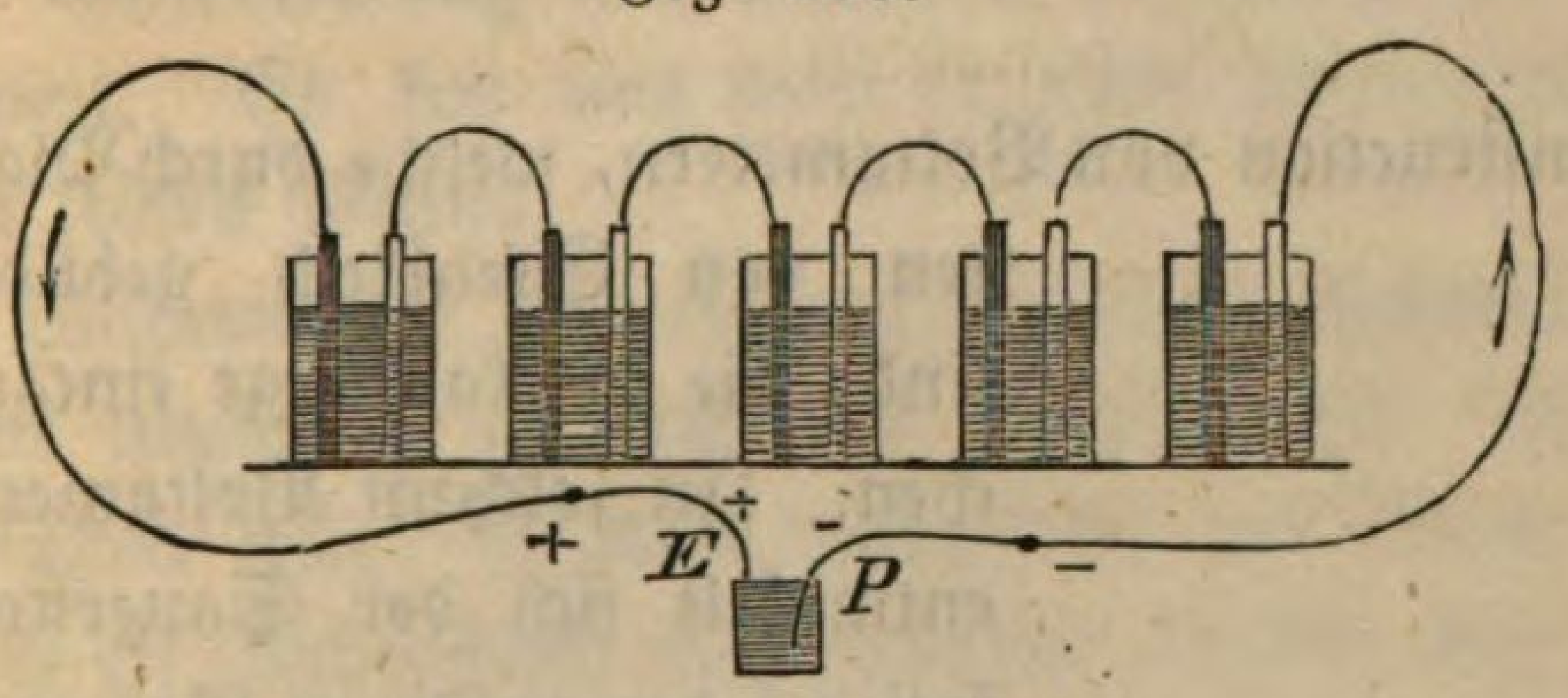
wandelt. Es zeigt sich jedoch in der Leichtigkeit, mit welcher die Drähte ihren passiven Zustand mit dem activen vertauschen, ein beträchtlicher Unterschied zwischen denen, welche durch Glühen passiv gemacht sind, und solchen, welche dadurch passiv gemacht wurden, daß sie, einen schon passiven Draht berührend, in die Flüssigkeit eingetaucht wurden. Wir wollen erstere ursprünglich passive, letztere dagegen secundäre passive nennen. Die ursprünglich passiven zeigen wohl nur darum eine größere Beständigkeit ihrer Passivität, weil sie durch eine dickere Schicht geschützt sind.

Alles was die schützende Hülle vernichtet, macht den Draht wieder activ.

Verhalten eiserner Electroden. In dem Fig. 127 dargestellten 149
Versuch bildet E offenbar den positiven Pol einer einfachen Kette, es ließ sich also erwarten, daß man Eisen auch dadurch passiv machen kann, daß man es als + Pol einer Volta'schen Säule in eine Säure taucht, die ihn an und für sich angreifen würde.

Schönbein hat den Versuch wirklich angestellt (P. A. XXXVII. 391). An dem + Pol einer aus 15 nicht constanten Zinkkupferelementen bestehenden Säule (einige Becher einer constanten Batterie reichen zu diesem Versuche ebenfalls aus) war ein Eisendraht befestigt, während der negative Pol dieser Säule mit einem Platindraht endigte. Zunächst wurde der negative Platindraht in ein Gefäß mit Salpetersäure von 1,36 spec. Gew. eingetaucht und dann die Kette durch Eintauchen des durch den Eisendraht gebildeten + Pol in dieselbe Säure geschlossen, wie Fig. 130 andeutet; es zeigte sich dieser Eisendraht vollkommen passiv, d. h. er wurde von der Säure in keiner Weise angegriffen, und besaß nach Abtrennung von der Säule dieselben Eigenschaften, wie ein durch Glühen passiv gemachter Draht.

Fig. 130.



Bleibt der passive Eisendraht fortwährend als + Pol der Kette in der Säure eingetaucht, so zeigt sich die merkwürdige Erscheinung, daß der in Folge der Elektrolyse an demselben ausgeschiedene Sauerstoff sich nicht etwa mit dem Eisen verbindet, sondern frei an demselben aufsteigt, gerade so, als ob der + Pol der Kette durch einen Platindraht gebildet würde. — Die Oxydschicht also, welche sich unter den erwähnten Umständen gleich beim Eintauchen des Eisendrahtes in die Flüssigkeit bildet, schützt ihn also vollkommen vor fernerer Oxydation.

Zum Gelingen dieses Versuchs ist keineswegs Salpetersäure von 1,35 spec. Gewicht nöthig, man kann dieselbe noch über ihr 100faches Volumen mit Wasser verdünnen und immer noch wird der zuletzt in die Flüssigkeit

eingetauchte eiserne + Pol der Säule passiv werden, immer noch wird an demselben ausgeschiedener Sauerstoff frei als Gas aufsteigen.

Ganz ähnliche Erscheinungen finden Statt, wenn anstatt verdünnter Salpetersäure verdünnte Schwefelsäure oder Phosphorsäure angewendet wird. Soll in dieser Säure der Sauerstoff am positiven Eisendraht sich frei entwickeln, so muß ebenfalls erst der negative Pol der Säule zuerst in die Flüssigkeit eintauchen, und dann erst der mit dem positiven Pol verbundene Eisendraht in dieselbe eingeführt werden.

Taucht man den positiven eisernen Poldraht vor dem negativen Poldraht in die verdünnte Säure, so wird er angegriffen; eben so wenig wird der Eisendraht passiv, wenn man ihn abgetrennt vom positiven Pol der Säule in die verdünnte Säure taucht, mag der negative Pol bereits in dieselbe eingeführt seyn oder nicht. Kurz, wenn das Eisen passiv werden soll, so darf es der chemischen Einwirkung der verdünnten Säure nicht vor der Stromwirkung ausgesetzt seyn.

Wendet man statt der verdünnten Säure in diesem Versuch die wässerige Lösung einer Sauerstoffverbindung an, welche nicht merklich chemisch auf das Eisen einwirkt, wie Lösungen von Alkalien und vollkommen neutralen Salzen, so wird das Eisen immer passiv, wie man auch die Kette schließen mag; bei Anwendung von Kalilauge z. B. oder Salpeterlösung wird das mit dem positiven Pole verbundene Eisen stets passiv, man mag nun den negativen oder positiven Pol zuerst in die Flüssigkeit tauchen. (P. A. XXXVIII. 492).

Darauf gründet sich die Construction von Voltametern, welche durch Platten von Eisenblech gebildet sind, die in Kalilauge eintauchen. In solchem Voltameter entwickelt sich der Sauerstoff frei an der positiven Polpatte, ohne das Eisen anzugreifen.

Fig. 131.

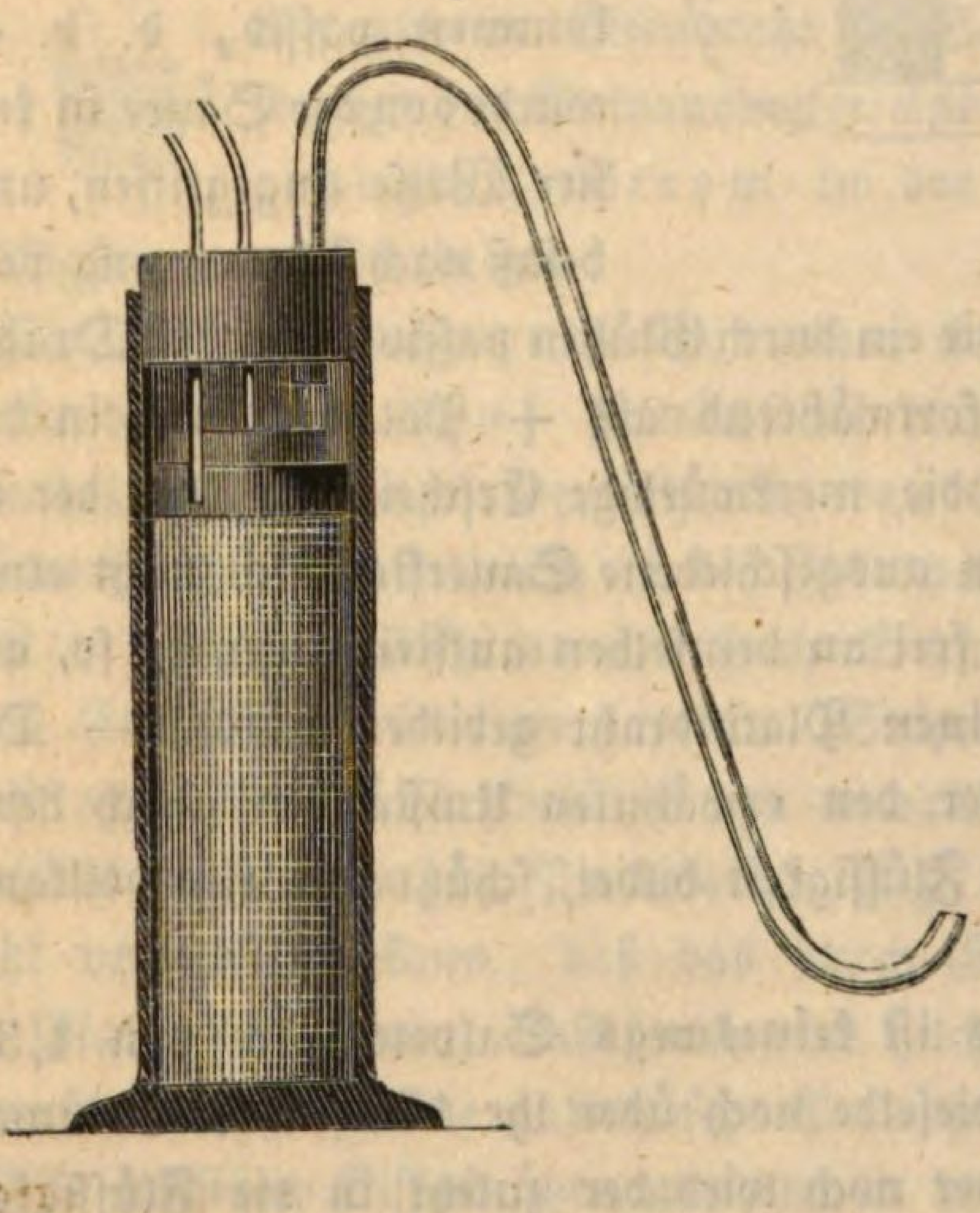


Fig. 131. stellt ein von Bunsen construirtes Voltameter mit Eisenplatten dar. In einem cylindrischen Standglase von 6 bis 8 C. Durchmesser und 30 bis 35 Cent. Höhe befinden sich zwei concentrische Cylinder von Eisenblech, welche durch eine von Kalilauge nicht angreifbare und zugleich isolirende Substanz,

am besten durch Stränge von gesponnenem Glas außer Berührung gehalten werden. Das mit Kalilauge gefüllte Gefäß ist mit einem wohl passenden Kork verschlossen, durch welchen, außer dem Gasentbindungsrohre, noch zwei Kupferdrähte hindurch gehen, von denen jeder an einer Eisenplatte angelöthet ist, und welche mit den Polen der Säule in Verbindung gebracht werden.

Ist ein solches Voltameter einmal gut hergerichtet, so kann man es, mit der Kalilauge gefüllt, immer zum Gebrauch bereit stehen lassen.

Um ein starkes Aufbrausen der Kalilauge bei der Gasentwickelung zu verhindern, gießt man eine etwa eine Linie hohe Schicht von Terpentinöl darauf.

Mittelst Eisenplatten kann man sich auf diese Weise ein Voltameter mit verhältnißmäßig großen Elektroden für wenig Kosten verschaffen. Ein solches Voltameter ist im Stande eine große Menge Knallgas in kurzer Zeit zu liefern, doch ist die Gasentwickelung bei weitem nicht so stark, als man nach der Größe der Platten erwarten sollte, wahrscheinlich, weil die Kalilauge bedeutend schlechter leitet, als die verdünnte Schwefelsäure der gewöhnlichen Platinvoltameter.

Nach meinen Beobachtungen ist ein solches Eisenblech-Voltameter zu genauen Versuchen nicht geeignet. Ich habe die Beobachtung gemacht, daß das Maximum der Gasentwickelung erst einige Zeit nach der Schließung der Kette eintritt, und daß das Aufsteigen der Gasbläschen nicht gleich mit der Unterbrechung des Stromes aufhört, sondern noch eine Zeit lang fortdauert. Es hat dies wohl in einer Absorption der Gase durch die Flüssigkeit seinen Grund.

Während bei Anwendung wässeriger Lösungen von Alkalien und vollkommen neutralen Salzen das Eisen passiv wird, wie man auch die Kette schließen mag, so wird umgekehrt das Eisen nie passiv, auf welche Weise auch die Schließung bewerkstelligt werden mag, wenn die eisernen Elektroden in eine wässerige Lösung einer nicht sauerstoffhaltigen elektrolytischen Verbindung eingetaucht werden, deren negativer Bestandtheil eine große Verwandtschaft zum Eisen hat, wie Wasserstoffsäuren, Halogensalze, Schwefelmetalle u. s. w. In solchen Lösungen wird das Eisen stets angegriffen, und es entwickelt sich nie freier Sauerstoff an demselben.

Bei den auf Seite 361 u. 362 beschriebenen Versuchen war das ursprünglich passive und das secundär passive Drahtende in dasselbe mit Säure gefüllte Gefäß eingetaucht worden. Schönbein hat den Kreis der Erscheinungen dadurch noch mannichfaltiger gemacht, daß er zwei, auf verschiedene Weise verbundene mit Säure gefüllte Gefäße anwandte (P. A. XL. 193.).

Die Gefäße *A* und *B*, Fig. 132, seyen mit Salpetersäure von 1,3 bis 1,36 spec. Gew. gefüllt. Taucht man das durch Glühen passiv gemachte Drahtende *p* in *A* ein, hierauf das ungeglühte Ende *a* in *B*, so wird *a* lebhaft ange-

griffen. Taucht man nun eine zweite Gabel von Eisendraht, deren beide Enden ungeglüht sind, so ein, daß zuerst *d* in *B* eingesenkt und dann erst *p'* in *A* eingetaucht wird, so wird *p'* passiv, *p* und *p'* bleiben unangegriffen, während an *a* und *d* eine lebhafte Gasentwickelung stattfindet.

Fig. 132.

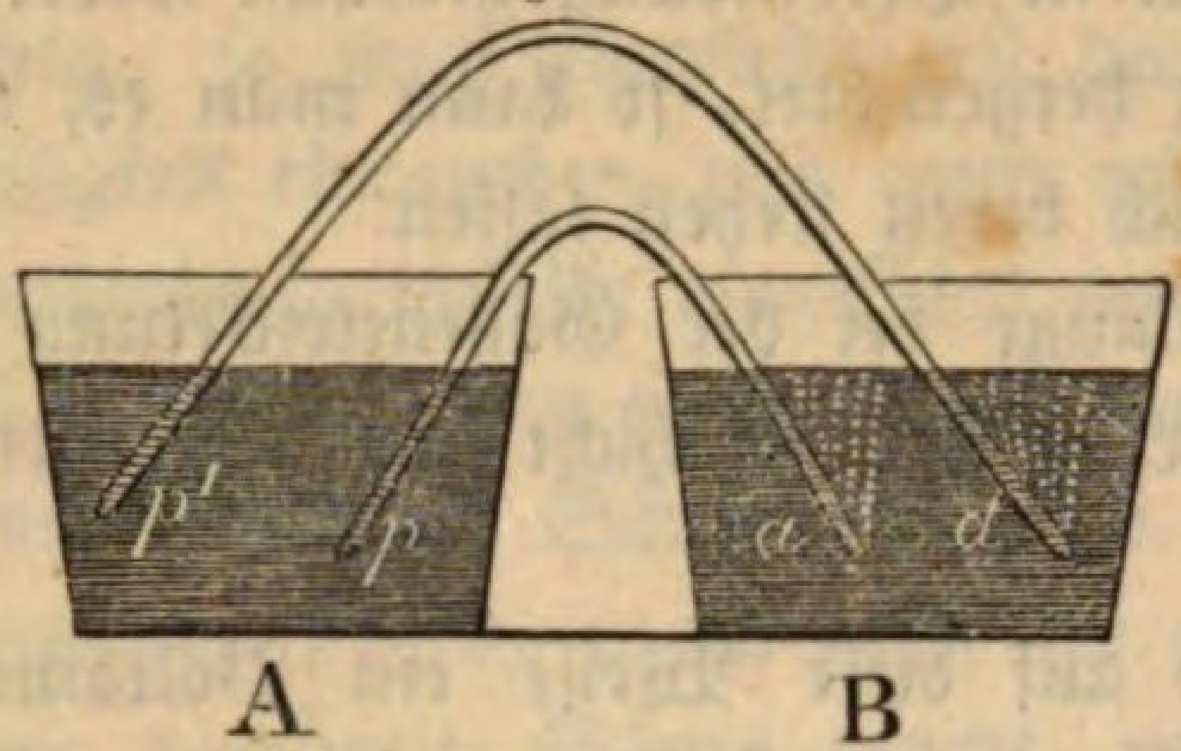
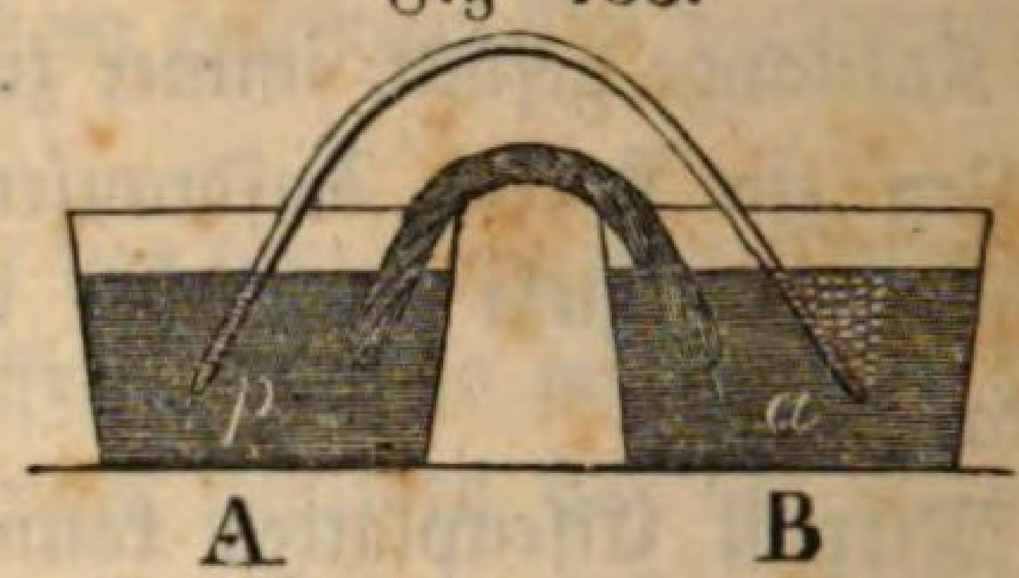


Fig 133.



Im Wesentlichen ist dies nichts anderes, als eine andere Form des in Fig. 134 dargestellten Versuchs.

Die mit Säure von 1,3 bis 1,37 gefüllten Gefäße *A* und *B* Fig. 133 seyen durch ein mit derselben Säure getränktes Asbestbündel verbunden. Man tauche nun in *A* das passive Ende eines Eisendrahtes ein, und nachher erst das andere Ende *a* in *B*, so wird *a* nicht passiv, sondern es wird lebhaft angegriffen. —

Hier ist offenbar der Strom, welcher *a* passiv machen sollte, des zu großen Leitungswiderstandes wegen, zu schwach. Ein Beweis für die Richtigkeit dieser Ansicht ist der Umstand, daß wenn man in *A* zuerst den durch einen Platindraht oder passiven Eisendraht gebildeten negativen Pol einer Säule eintaucht und alsdann erst in *B* einen mit dem negativen Pol derselben verbundenen Eisendraht, daß dieser nun passiv wird.

Ersetzt man bei dem Versuch Fig. 133 das Asbestbündel durch einen mit der Säure gefüllten Heber, so ist der Erfolg der gleiche, d. h. das zuletzt eingetauchte Drahtende *a* wird nicht passiv.

Denselben Erfolg erhält man, wenn die Gefäße statt durch einen Heber durch einen Platindraht verbunden werden. Hier ist die galvanische Polarisation am Platin die Ursache der Stromschwächung.

Ersetzt man den Platindraht durch den Draht eines Metalls, welches von der Säure angegriffen wird, so fällt der beim Platin auftretende Grund der Stromschwächung weg, und in diesem Falle wird auch das zuletzt in *B* eingetauchte Ende *a* des Eisendrahtes passiv.

150 **Passives Eisen in einer Lösung von Kupfervitriol.** Ein Eisendraht mit dem positiven Pole einer Säule verbunden und in eine Auflösung von Kupfervitriol eingeführt, die bereits in Verbindung mit dem negativen Pole steht, Fig. 134 (a. f. S.), verhält sich gegen diese Flüssigkeit vollkommen indifferent, d. h. es schlägt sich an diesem Draht kein Kupfer nieder, und es entwickelt sich an ihm Sauerstoffgas.

Bei jeder andern als der erwähnten Schließungsweise tritt diese Passivität des Eisens nicht ein.

Ein Eisendraht, den man durch einmaliges Eintauchen in sehr concentrirter Salpetersäure oder durch mehrmaliges in gewöhnliche passiv gemacht hat, zeigt diese Passivität auch gegen eine Auflösung von Kupfervitriol, d. h. er besitzt nicht mehr die Fähigkeit, der Flüssigkeit Sauerstoff zu entziehen und in Folge dessen Kupfer zu fällen.

Fig. 134.

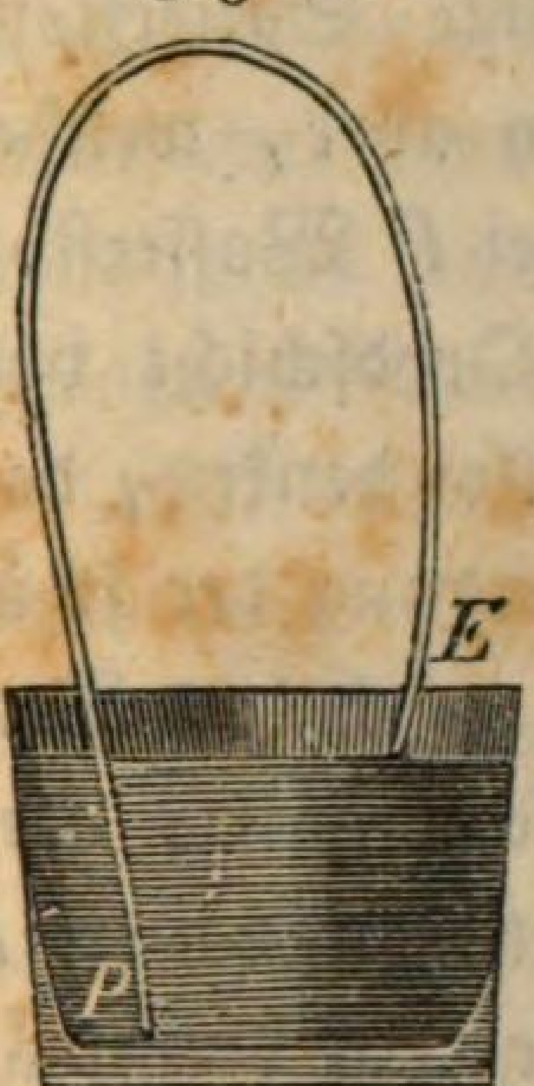
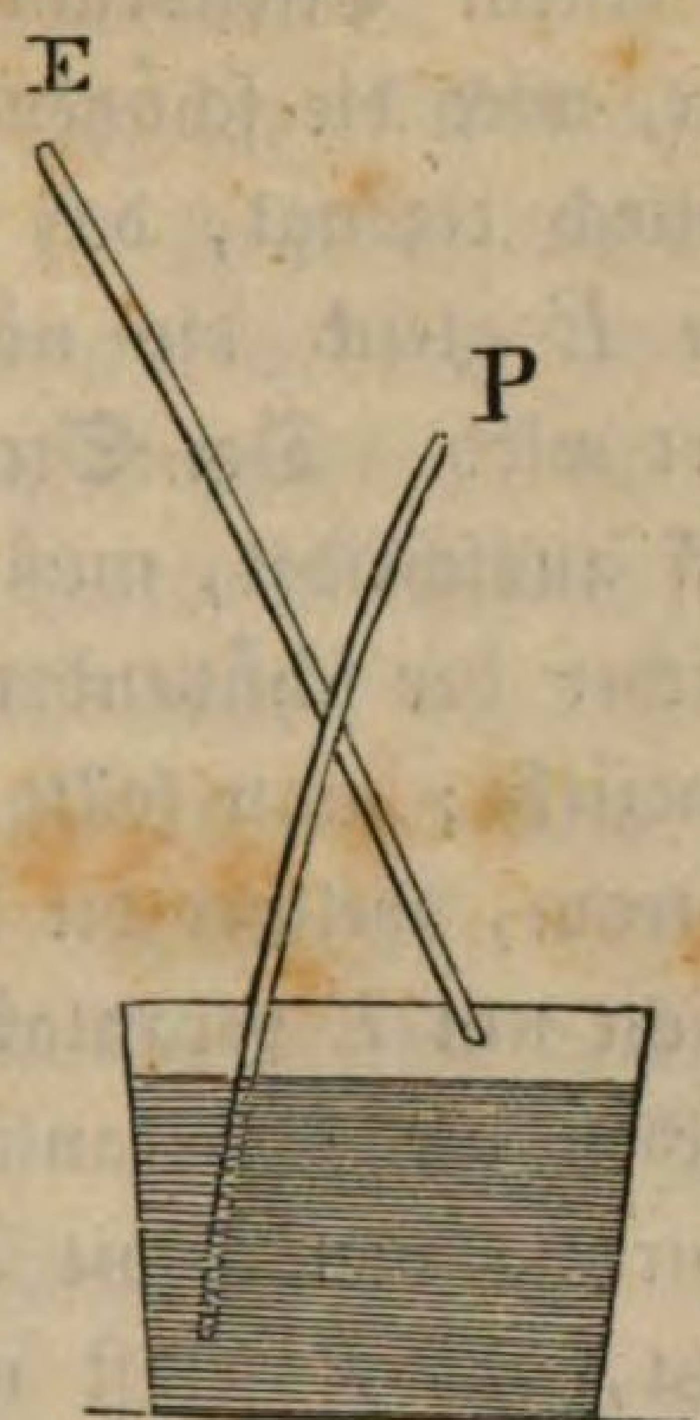


Fig. 135.



Wiederholt man den in Fig. 134 dargestellten Versuch, nachdem man die Salpetersäure mit einer Auflösung von Kupfervitriol vertauscht hat, so zeigt sich, daß man die Passivität nicht von dem passiven Drahtende *P* auf das andere *E* übertragen kann, wie dies in Salpetersäure der Fall war, d. h. wenn man das durch Eintauchen in concentrirte Säure passiv gemachte Drahtende *P* in eine Lösung von Kupfervitriol eintaucht, alsdann den Draht umbiegt, und das Drahtende *E* nun gleichfalls in die Flüssigkeit einführt, so schlägt sich an *E* das Kupfer nieder.

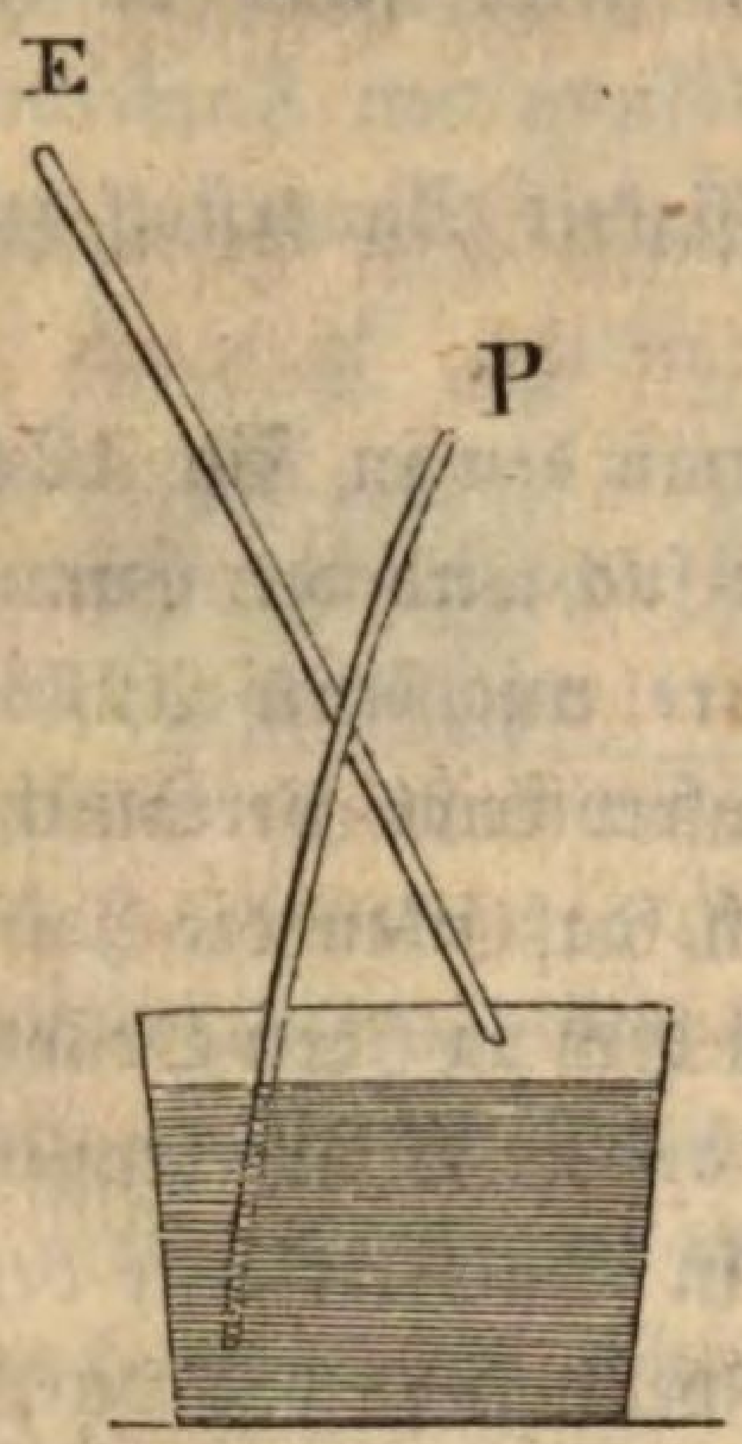
Da ein mit dem positiven Pol einer Säule verbundener Eisendraht sich ganz anders verhält, so vermuthete Schönbein mit Recht, daß der Fig. 134 dargestellte Versuch mit einer Lösung von Kupervitriol nur darum ein negatives Resultat liefert, weil der Strom, welcher die Passivirung des zuletzt eingetauchten Endes bewirken soll, bei dieser einfachen Kette zu schwach ist.

Aus diesem Grunde ist überhaupt die Uebertragung der Passivität von einem Eisendraht auf den andern, welche wir oben kennen gelernt haben und welche durch Fig. 135 versinnlicht worden ist, bei Anwendung einer Auflösung von Kupfervitriol statt der Salpetersäure nicht möglich.

Gelingt es, den Strom dadurch zu verstärken, daß man den Draht *P* negativer macht als ein Platindraht oder passiver Eisendraht ist, so muß die Uebertragung auch in einer Lösung von Kupfervitriol möglich seyn. Von dieser Betrachtung ausgehend kam Schönbein auf folgende Form des Versuchs. Das eine Ende eines längeren Eisendrahtes wurde mit Bleihyperoxyd überzogen und das so präparirte Ende *P* in eine Lösung von Kupfervitriol getaucht; wird nun der Draht umgebogen und auch

das nicht präparirte Ende *E*, Fig. 134, in die Flüssigkeit eingetaucht, so zeigt sich *E* passiv, es fällt kein Kupfer.

Fig. 136.



Während der Passivirung von *E* verschwindet hierbei nach und nach das Bleihyperoxyd an *P*, und *P* wird activ, sobald das Bleihyperoxyd, welches dieses Drahtende überzieht vollkommen verschwunden ist.

Bei der Fig. 136 dargestellten Uebertragung der Passivität von einem Eisendraht auf den andern in Salpetersäure, wird die schützende Oxydschicht auf *E* offenbar dadurch erzeugt, daß durch den Strom dem Drahtende *E* gleich die nöthige Sauerstoffmenge zugeführt wird. Der Strom aber, welcher in *E* Sauerstoff ausscheidet, muß bei *P* Wasserstoff entwickeln, welcher der schützenden Oxydschicht von *P* Sauerstoff entzieht; man sollte also denken, daß der nämliche Strom, welcher die Bildung der schützenden Oxydschicht um *E* veranlaßt, auch das Verschwinden derselben an *P* veranlassen müsse, oder mit andern Worten, daß die Passivirung von *E* die Activirung von *P* zur Folge haben müßte, vorausgesetzt, daß *P* selbst nur ein secundär passiver Draht ist, also nicht durch eine sehr dicke Schicht geschützt ist.

Der Versuch zeigt aber, daß man mit einem secundär passiven Draht in Salpetersäure von 1,36 spec. Gew. einen weiteren passiv machen kann, ohne daß der erstere activ wird, was wohl darin seinen Grund hat, daß in dem frei werdenden Wasserstoff, wenigstens theilweise, durch die Salpetersäure reducirt wird, also die Oxydschicht nicht völlig reduciren kann. Dauert aber der Strom längere Zeit an, wie es der Fall ist, wenn man statt *E* einen Zink- oder Kupferstreifen an *P* herab in die Säure gleiten läßt, welche beide nicht passiv werden, so wird die schützende Schicht um *P* alsbald gelöst, und *P* selbst activ. Selbst mit einem Eisendraht *E* kann man *P* wieder activ machen, wenn man eine verdünntere Säure anwendet.

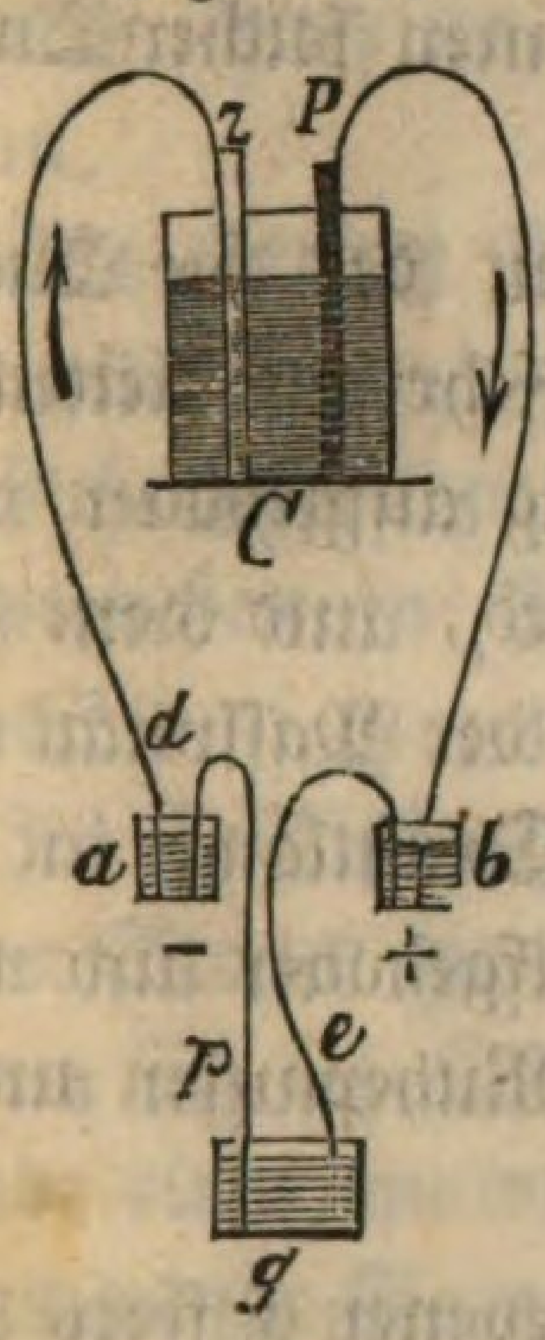
151 **Pulsiren der Passivität.** In Betreff der Intensität, mit welcher die Salpetersäure einen Eisendraht angreift, lassen sich zwei Hauptgrade unterscheiden, die wir die langsame und die rasche Einwirkung nennen wollen. Die langsame Einwirkung ist dadurch charakterisirt, daß sie augenblicklich aufgehoben wird, sobald man den Eisendraht mit einem in die Säure eingetauchten Platindraht berührt; das der langsamen Ein-

wirkung der Säure ausgesetzt gewesene Eisen wird auf diese Weise passiv. — Auf einen Eisendraht, welcher der raschen Einwirkung der Säure ausgesetzt ist, an welchem also eine lebhafte Gasentwickelung stattfinden kann, hat diese Behandlung mit einem Platindraht keinen Einfluß, er läßt sich dadurch nicht passiv machen.

Hat man einen Eisendraht durch wiederholtes Eintauchen in Salpetersäure von 1,35 spec. Gew. passiv gemacht, berührt man ihn, während er sich noch in dieser Flüssigkeit befindet, mit einem Kupfer- oder Messingdrahte, welcher gleichfalls in die Säure eingetaucht ist, so wird der Eisendraht, wie dies schon angeführt wurde, activ, und zwar langsam activ. Diese Thätigkeit ist jedoch keine stetige, sondern sie findet stoßweise Statt; mit andern Worten, es wird unter diesen Umständen der Eisendraht abwechselnd activ und passiv, und dies geschieht anfänglich in Intervallen von etwa einer Secunde, welche jedoch im Verlaufe der Action immer kürzer werden, bis endlich die rasche Wirkung eintritt.

Läßt man jeden der Zutretungsdrähte einer kräftigen einfachen Kette *C*, Fig. 137, in ein mit Quecksilber gefülltes Näpfchen treten, verbindet man alsdann das Näpfchen *a*, in welches der negative Leitungsdraht eintaucht, durch einen Platinstreifen *p* mit der Flüssigkeit (11 Raumtheile Wasser auf 1 Raumtheil Schwefelsäure) der Zersetzungszelle *g*; taucht man hierauf das eine Ende eines gewöhnlichen Eisendrahtes *e* in das positive Quecksilbernäpfchen *b*, und dann das andere Ende desselben Drahtes in das gesäuerte Wasser der Zersetzungszelle, so wird das Eisen passiv, und es entwickelt sich begreiflicherweise an dem Platinelektroden *p* kein Wasserstoff, da wegen der Polarisation an *p* die elektromotorische Kraft von *C* nicht hinreicht, einen merklichen Strom durch *g* hindurchzutreiben.

Fig. 137.



Schließt man die Kette aber auf eine andere Weise, etwa so, daß man den Eisendraht *e* erst in *g* und dann in *b* eintaucht, so wird der Eisendraht nicht passiv, *g* wird selbst zu einer Erregungszelle, deren Strom sich mit dem des constanten Elementes combinirt, und so tritt denn an *p* eine lebhafte Entwickelung von Wasserstoff ein, während der Eisendraht verzehrt wird.

Ist die Kette so geschlossen worden, daß *e* passiv ist, daß also an *p* kein Wasserstoffgas aufsteigt, so giebt es nun verschiedene Mittel, *e* wieder activ zu machen, worauf alsbald das Gas bei *p* aufzusteigen beginnt. Ein Mittel, diese Gasentwickelung hervorzurufen, besteht darin, daß man die Kette an irgend einer Stelle unterbricht und nach einiger Zeit wieder

schließt; zieht man z. B. den Draht *d* aus *a* heraus, so wird *e* alsbald activ, und wenn man nun *d* wieder eintaucht, so findet eine lebhafte Gasentwickelung an dem Platinstreifen *p* Statt.

Um die Passivität von *a* zu erhalten, muß das constante Element mit einer gewissen Energie den Strom durch *g* durchzutreiben streben, deshalb hört sie auch auf, wenn die Kette unterbrochen wird. Die Energie, mit welcher das constante Element den Strom durch *g* hindurch zu treiben strebt, kann aber auch dadurch geschwächt werden, daß man eine gute Nebenschließung anbringt.

Verbindet man die Quecksilbernäpfchen *a* und *b* durch einen kurzen dicken Kupferdraht, so geht durch diesen fast der ganze Strom, welcher das constante Element zu erzeugen vermag, *e* verliert seine Passivität, und nun geht auch ein Theil des von *C* erregten Stromes durch *g*, was sich durch eine Gasentwickelung kund giebt.

Verbindet man dagegen, während *e* noch passiv ist, *a* und *b* durch einen Draht, welcher einen bedeutenden Leitungswiderstand ausübt, so ist der Strom, welchen er leiten kann, zu unbedeutend, um eine Aufhebung der Passivität des Eisendrahtes *e* zu veranlassen; durch einen solchen Draht kann man eine Gasentwickelung an *p* hervorrufen.

Zwischen diesen beiden Gränzen der Leitungsfähigkeit des die Quecksilbernäpfchen *a* und *b* verbindenden Drahtes, dem sehr gut leitenden nämlich, durch welchen die Passivität von *e* vollständig aufgehoben und eine dauernde Gasentwickelung an *p* hervorgebracht wird, und dem sehr schlecht leitenden Draht, welcher gar keine Aufhebung der Passivität von *e* zu Stande bringen kann, liegt aber eine gewisse Drahtlänge in der Mitte, durch welche die Passivität von *e* abwechselnd aufgehoben und wieder hergestellt wird, so daß an *p* eine stoßweise, durch Ruhepausen unterbrochene Gasentwickelung stattfindet.

Die Länge und Dicke der Drähte, welche die beschriebenen Effecte hervorbringen, hängt von den Umständen ab. Bei Schönbein's Versuchen bewirkte ein Kupferdraht von 3 Zoll Länge und ½ Zoll Durchmesser eine dauernde Gasentwickelung an *p*. Ein 40 Fuß langer Draht von derselben Dicke hob die Passivität von *e* nicht auf. Ein Draht von der nämlichen Dicke und 16 bis 20 Fuß Länge brachte aber jene Pulsationen in der Gasentwickelung hervor. Unmittelbar nach der Schließung dauerte es einige Zeit, bis die Gasentwickelung an *p* anfing; sie war lebhafter als die, welche durch kürzere Drähte hervorgebracht wird, hörte aber nach einigen Secunden wieder auf, um bald wieder zu beginnen. So wechselten Thätigkeit und Unthätigkeit, bis endlich ein dauernder Zustand der Unthätigkeit eintrat (P. A. LVII. 63).

152 **Theorie der Passivität.** Beim Ueberblick der bisher besprochenen

Thatsachen kann wohl die Theorie der Passivität kaum mehr zweifelhaft seyn, sie ergiebt sich aus den Erscheinungen leicht und ungezwungen, wenn auch manche Einzelheiten noch einer nähern Untersuchung bedürfen.

Es kann wohl als gewiß betrachtet werden, daß die Erscheinungen der Passivität des Eisens durch eine Oxydul- oder Oxydschicht vermittelt werden, welche einerseits das Eisen vor dem Angriff der Säure schützt, andererseits aber in ähnlicher Weise elektromotorisch wirkt wie die Bleihyperoxydschicht, welche eine Platinplatte bekleidet.

Wie diese Schicht zusammengesetzt ist, unter welchen Bedingungen sie sich bildet, unter welchen sie sich auflöst, sind freilich Fragen, welche noch keineswegs für alle Fälle genügend beantwortet sind, doch liegt darin kein Grund, die oben angedeutete Basis der Erklärung zu verlassen.

Die Bildung der Oxydulschicht beim Glühen der Eisendrähte ist klar. — Damit sich eine ähnliche Schicht beim Eintauchen in eine Flüssigkeit bilden kann, ist es nöthig, daß dem Eisen die zur Bildung der Oxydschicht nothwendige Menge Sauerstoff zugeführt wird, bevor noch irgend eine andere chemische Einwirkung der Flüssigkeit auf das Eisen stattfinden kann.

Concentrirte Salpetersäure ist so reich an Sauerstoff, daß das bloße Eintauchen eines Eisendrahtes in dieselbe genügt, um die passiv machende Schicht zu bilden. Wie es kommt, daß ein Eisendraht durch wiederholtes Eintauchen in Säure von 1,35 passiv wird, ist noch nicht recht klar gemacht.

In Flüssigkeiten, welche weniger sauerstoffreich sind, muß ein galvanischer Strom die Zuführung des Sauerstoffs an das Eisen unterstützen, wenn sich die Oxydhülle bilden soll, und zwar muß die den Strom erregende elektromotorische Kraft um so stärker seyn, je weniger leicht ausscheidenden Sauerstoff die Flüssigkeit enthält. In Salpetersäure von 1,35 spec. Gew. genügt schon die Combination des Eisendrahtes mit Platin; bei verdünnter Schwefelsäure muß man schon eine Volta'sche Säule in Anwendung bringen.

Daß ein Eisendraht, welcher durch bloßes Eintauchen in concentrirte oder durch Combination mit Platin in verdünnter Salpetersäure passiv gemacht worden ist, seinen vollen Metallglanz zeigt, kann keinen Grund abgeben, das Vorhandenseyn einer dünnen Oxydschicht in diesem Falle in Zweifel zu ziehen, denn diese Schicht muß bei wachsender Dicke die Schattirungen der Newton'schen Farbenringe durchlaufen; so lange also die Schicht nur noch eine den Farben der ersten Ordnung entsprechende Dicke hat, kann sie dem Metallglanz des Drahtes höchstens eine schwache Nüancirung in's Bläuliche oder Gelbliche ertheilen.

In elektromotorischer Beziehung steht die das Eisen passiv machende Schicht dem Platin sehr nahe.

Betrachten wir noch kurz die von verschiedenen Physikern aufgestellten Erklärungen der Passivitätserscheinungen.

Faraday (Phil. Magaz. 1836, Juli, Seite 53) nahm an, das Eisen überziehe sich in der concentrirten Salpetersäure mit einer unlöslichen Oxydschicht. Diese Ansicht wurde zwar von manchen Seiten angegriffen; alle Thatsachen in ihrem Zusammenhange gehörig würdigend, kann man jedoch nicht umhin, dieselben als die Basis der richtigen Theorie der Passivität zu betrachten.

Mousson und de la Rive nehmen an, daß das Eisen durch eine Schicht salpetriger Säure geschützt werde (P. A. XXXIX. S. 330), eine Hypothese, deren Unhaltbarkeit Schönbein (P. A. XXXIX. S. 342) genügend darthut. In der That kann eine solche Schicht salpetriger Säure schon deshalb nicht als Erklärungsgrund der Passivität des Eisens gelten, weil, wie wir gesehen haben, die Passivitätserscheinungen keineswegs auf Salpetersäure beschränkt sind.

Martens stellt die Behauptung auf (P. A. XXXVII. 393, LXI. 121), daß die Passivität, welche das Eisen durch Erhitzen annimmt, von seiner Oxydation unabhängig sei, eine Meinung, deren Unzulässigkeit sowohl Schönbein (P. A. LIX. 149) als auch Beetz (P. A. LXII. 234) experimentell widerlegt haben.

Schönbein selbst, welcher doch das meiste Material zum Aufbau einer Theorie der Passivität zusammenbrachte, hat zwar seine Abhandlungen über diesen Gegenstand vielfach mit theoretischen Betrachtungen durchwebt, glaubt aber nicht, sich entschieden für irgend eine der bis dahin vorgeschlagenen Erklärungen aussprechen zu können. Er betrachtet also die Erklärung der Passivitätserscheinungen als eine noch offen stehende Frage.

Die zu Anfang dieses Paragraphen entwickelten Ansichten über das Wesen und den Grund der Passivitätserscheinungen stimmen im Wesentlichen mit denjenigen überein, welche Beetz (P. A. LXVII. 186) und Rollmann (P. A. LXXIII. 406) vertreten. Letzterer hat noch einen neuen Beweis für die Existenz der Oxydschicht auch bei dem in Flüssigkeiten passiv gemachten Eisen beigebracht, er hat nämlich gezeigt, daß das Passivmachen eines Eisendrahtes stets mit einer Verminderung seiner Leitungsfähigkeit verbunden ist, was offenbar nur einer schlecht leitenden Hülle zugeschrieben werden kann.

Endlich habe ich noch einer neuen Reihe von Versuchen zu erwähnen, welche Wetzlar 20 Jahre nachdem er zuerst das chemische Publikum mit der merkwürdigen Indifferenz bekannt gemacht hatte, welche

das so oxydabele Eisen in einigen Flüssigkeiten zeigt, die ihren Sauerstoff leicht abgeben, angestellt hat.

Wetzlar hat das elektromotorische Verhalten des auf verschiedene Weise behandelten Eisens nicht mit dem Galvanometer, sondern mit einem condensirenden Bohnenberger'schen Elektroskop untersucht.

Zu seinen Versuchen gebrauchte er Scheiben von Schmiedeeisen und Stahl, die bei einer Dicke von einigen Linien $2^1/_2$ bis $2^3/_4$ Zoll im Durchmesser besaßen, und mit ihren in Berührung zu setzenden, gut abgeschliffenen Flächen vollkommen auf einander paßten. Die der Berührungsoberfläche entgegengesetzte Seite besaß in der Mitte ein Gewinde zum Einschrauben eines isolirenden Handgriffs.

Wetzlar fand folgende Resultate:

1) Wenn man von zwei blanken und metallisch glänzenden Eisen- oder Stahlscheiben, die nach einem vorläufigen Versuch am Condensator sich vollkommen homogen verhalten, die eine mit Rost oder Smirgelpapier abreibt, so verhält sie sich positiv gegen die andere nicht abgeriebene.

In diesem Falle reichten 8 bis 10 Berührungen und Uebertragungen an die Collectivplatte des Condensators hin, um diesen eine vollständige Ladung zu ertheilen.

2) Befeuchtet man die Berührungsoberfläche einer blanken Stahlscheibe mit destillirtem Wasser, führt man dieses 1—2 Minuten mit reinem Fließpapier reibend auf derselben herum, so verhält sich die Scheibe nach dem Abtrocknen negativ gegen eine zweite, vorher mit ihr homogen gewesenen.

3) Wird eine Eisenscheibe über der Weingeistlampe bis zum unmerklichen oder sichtbaren Anlaufen erhitzt, so verhält sie sich, nach dem Erkalten geprüft, sehr stark negativ gegen eine nicht so behandelte, so daß schon drei Uebertragungen zur vollständigen Ladung des Condensators hinreichten. Eine solche Scheibe verhält sich negativ gegen Kupfer, Silber und Gold.

Passivität anderer Metalle. Andere Metalle, namentlich Wismuth, Kupfer und Zinn, zeigen ähnliche Passivitätserscheinungen wie das Eisen, wenn auch in weniger ausgezeichneter Weise. Andrews (P. A. XLV. 121) machte die Beobachtung, daß ein Stückchen Wismuth, welches in eine große Menge Salpetersäure von 1,4 spec. Gew. getaucht, und darauf in der Flüssigkeit mit einer Platinplatte berührt worden war, fast ganz aufhörte sich zu lösen, und zugleich einen eigenthümlichen Glanz annahm, während dieses Metall von derselben Säure für sich allein heftig angegriffen wurde. 153

Als eine kleine Wismuthstange zum positiven Pole einer kleinen Batterie von zwei Grove'schen Plattenpaaren gemacht und in Salpeter-

säure von 1,4 spec. Gew. getaucht wurde, ward ihre Löslichkeit sogleich gehemmt, und bei Aufhebung der Verbindung mit der Batterie zeigte sie sich in den passiven Zustand versetzt.

Beim passiven Zustand des Wismuths ist jedoch seine Auflösung in der Säure nicht gänzlich aufgehoben, wie beim passiven Eisen, sie ist nur in eine langsame Auflösung verwandelt. Als positiver Pol einer Säule entwickelt das Wismuth nicht, wie dies beim passiven Eisen der Fall ist, freien Sauerstoff (Schönbein in P. A. XLIII.), sondern es wird gelöst, und zwar langsam, wenn man eine schwache, rascher, wenn man eine stärkere Säule anwendet.

Die schützende Schicht wirkt also beim Wismuth in ähnlicher Weise wie beim Eisen, nur ist seine schützende Kraft geringer.

Auch an Zinn und Kupfer hat Andrews derartige Passivitätserscheinungen beobachtet.

Beetz macht die Bemerkung (P. A. LXVII. 210), daß der Grund, weshalb das Eisen besonders zur Passivität disponirt ist, wohl in der großen elektrischen Differenz zwischen dem Eisen und seinem Oxyd liege. Nach dieser Ansicht muß ein Metall die Passivitätserscheinungen um so stärker zeigen, je größer die elektromotorische Kraft zwischen ihm und seinem Oxyd ist.

Müller, Joh.

Bericht über die neuesten Fortschritte der Physik In zwei Bänden

Bd.: I,1

Braunschweig 1849